

De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet-zout overgangen

H.V. Winter, A.B. Griffioen & O.A. van Keeken
Rapport C035/14



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Dienst Landelijk Gebied / De Nieuwe Afsluitdijk
Postbus 2003
8901 JA Leeuwarden

Publicatiedatum:

11 Maart 2014

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68	P.O. Box 77	P.O. Box 57	P.O. Box 167
1970 AB IJmuiden	4400 AB Yerseke	1780 AB Den Helder	1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26	Fax: +31 (0)317 48 73 59	Fax: +31 (0)223 63 06 87	Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl

© 2013 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V13.2

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
Summary	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding van de Vismigratierivier	9
1.2 Kennisvragen van het bronnenonderzoek	9
1.3 Aanpak en leeswijzer rapportage	10
2 Methode bronnenonderzoek	11
2.1 Gebiedsbeschrijving	11
2.1.1 Huidige situatie Afsluitdijk	11
2.1.2 Aangepast spuibeheer ten behoeve van vismigratie in verleden	14
2.1.3 De Vismigratierivier (VMR)	16
2.2 Aanpak bronnenonderzoek	21
2.3 Geraadpleegde bronnen	23
2.3.1 Overzicht van onderzoeken bij spuisluizen Kornwerderzand	23
2.3.2 Wetenschappelijke publicaties	25
2.3.3 Grijze literatuur	25
2.3.4 Ongepubliceerde kennis bij experts en ervaringsdeskundigen	25
3 Migrerende vis: biologie per soort en clustering in groepen	26
3.1 Overzicht van biologie en migratiegedrag van Nederlandse trekvis	28
3.1.1 Atlantische steur - <i>Acipenser sturio</i>	31
3.1.2 Atlantische zalm - <i>Salmo salar</i>	33
3.1.3 Bot - <i>Platichthys flesus</i>	37
3.1.4 Driedoornige stekelbaars - <i>Gasterosteus aculeatus</i>	40
3.1.5 Elft - <i>Alosa alosa</i>	43
3.1.6 Europese aal - <i>Anguilla anguilla</i>	45
3.1.7 Fint - <i>Alosa fallax</i>	49
3.1.8 Houting - <i>Coregonus oxyrinchus</i>	52
3.1.9 Spiering <i>Osmerus eperlanus</i>	60
3.1.10 Zeeforel <i>Salmo trutta</i>	63
3.1.11 Zeeprik <i>Petromyzon marinus</i>	66
3.2 Beknopt overzicht van andere vissoorten die VMR zouden kunnen gebruiken ..	69
3.2.1 Mariene vissoorten	69
3.2.2 Zoetwatervissoorten	69
3.3 Clustering van soorten in groepen	70
3.3.1 Timing van intrek	71
3.3.2 Afhankelijkheid van selectief getijdetransport	71
3.3.3 Passeervermogen middels actief zwemmen	72
3.3.4 Belang van zoet-zout gradiënt voor acclimatisatie	74
3.3.5 Belang van het passeren van de Afsluitdijk voor de populatie	75
4 Factoren die passage efficiëntie bij zoet-zout barrières bepalen	76
4.1 Welke factoren bepalen passage efficiëntie bij zoet-zout barrières?	76

4.2	Factoren m.b.t. aantrekkings-efficiëntie van spuicomplex Kornwerderzand	77
4.2.1	Oriëntatie van vis bij zoet-zout overgangen in het algemeen	77
4.2.2	Op grote schaal: oriëntatie en aantrekkingskracht van het spuicomplex in de Waddenzee	78
4.2.3	Op kleine schaal: oriëntatie en aantrekking binnen het spuicomplex ...	80
4.3	Factoren die passage-efficiëntie in vispassages bepalen	83
4.3.1	Zwemcapaciteiten van vis (kunnen passeren).....	83
4.3.2	Gedrag van vis in de VMR (bereid zijn te passeren)	85
4.3.3	Belang van acclimatisering bij passeren zoet-zout overgangen.....	86
4.3.4	Antropogene verstorende factoren	86
4.3.5	Predatierisico in vispassages.....	87
4.3.6	Vispassages als leefgebied	88
4.4	Passage efficiëntie in de huidige situatie bij spui-complex Kornwerderzand	88
5	Discussie van beschikbare kennis m.b.t. de realisatie van de VMR.....	92
5.1	Reflectie op de werkwijze binnen het bronnenonderzoek	92
5.2	Kennishiaten en overwegingen in relatie tot de VMR.....	93
5.2.1	Passage efficiëntie van intrekende vis bij Kornwerderzand	93
5.2.2	Ruimtelijk zoekgedrag van vis.....	93
5.2.3	Benutten van kortdurende migratievensters.....	95
5.2.4	Acclimatisatie bij zout-zoet overgang	95
5.2.5	Predatieverliezen en -risico's	96
5.2.6	Dimensies en omstandigheden waarbij VMR ook leefgebied kan zijn ...	96
5.2.7	Kennisleemtes en overwegingen m.b.t. uitspoeling zoetwatervis	96
5.3	Factoren die de toegevoegde waarde van de VMR bepalen	97
6	Aanbevelingen en toetsing van de ontwerpisen voor de VMR.....	99
6.1	Het aanbod en zoekgedrag in de spui kom i.r.t. de ingang van de VMR	101
6.2	De ingang van de VMR.....	104
6.3	De Waddenzeezijde van de VMR.....	107
6.4	De koker door de Afsluitdijk.....	109
6.5	De VMR aan de IJsselmeerzijde.....	112
6.6	De afsluiter van de VMR aan de IJsselmeerzijde	114
6.7	Slotbeschouwing en toetsing van de randvoorwaarden en ontwerpisen	115
7	Kwaliteitsborging	118
	Verantwoording	119
	Literatuurlijst.....	120

Samenvatting

De sluiting van de 32 km lange Afsluitdijk heeft grote gevolgen gehad voor de migratie van vis tussen de Zuiderzee en de aangrenzende rivieren. Waar eerst een natuurlijke overgang bestond van zoet en zout water, is nu een harde scheiding tussen het IJsselmeer en de Waddenzee ontstaan. Zoet water stroomt bij afgaand tij via twee spuicomplexen richting de Waddenzee. Stroomopwaarts migrerende vis wordt - afhankelijk van de timing - geconfronteerd bij de spuicomplexen met dichte deuren, korte migratievensters, grote stroomsnelheden en een harde overgang van zoet naar zout water. Om stroomopwaarts migrerende vis te faciliteren in hun migratie naar het IJsselmeer liggen er ontwerpen voor een vismigratierivier bij het spuicomplex Kornwerderzand. Een kunstmatige 'rivier' van 6 km lang, waar getijwerking tussen zoet en zout meer de ruimte krijgt, langere migratie vensters geboden worden en de stroomsnelheden van het water lager zijn. De VisMigratieRivier (VMR) bestaat - in het huidige in de haalbaarheidsstudie gepresenteerde ontwerp - uit een 2 km lang deel aan de Waddenzeezijde, een koker onder de weg door en een deel in het IJsselmeer van 4 km lang. De delen van de VMR worden beheerd door afsluiters die afhankelijk van het getij worden open- of dichtgezet.

Dit bronnenonderzoek geeft een overzicht van actuele kennis over stroomopwaartse migratie van soorten: atlantische steur (*Acipenser sturio*), bot (*Platichthys flesus*), elft (*Alosa alosa*), fint (*Alosa fallax*), Europese paling (*Anguilla anguilla*), driedoornige stekelbaars (*Gasterosteus aculeatus*), rivierprik (*Lampetra fluviatilis*), spiering (*Osmerus eperlanus*), zeeprik (*Petromyzon marinus*), zalm (*Salmo salar*), zeeforel (*Salmo trutta*) en houting (*Coregonus oxyrinchus*). De review van de kennis geeft een overzicht van populatiestatus van bovenstaande soorten in relatie tot de Afsluitdijk, de timing van migratie, het migratie- en oriëntatiegedrag, de zwemcapaciteit en passeermogelijkheden. Deze kennis is zowel per soort als per thema beschreven. De kennis is verzameld middels peer reviewed literatuur, grijze literatuur en interviews met lokale ervaringsdeskundigen, nationale en internationale experts. Op basis van de verzamelde kennis zijn concrete aanbevelingen gedaan voor de VMR. Er worden ook hypothetische scenario's geschetst die het gedrag van vis beschrijft bij Kornwerderzand en de VMR. Ten slotte wordt een inschatting gegeven van de verwachte meerwaarde van de VMR ten opzichte van de huidige situatie.

Lokale en regionale onderzoeksrapporten vormden grotendeels het startpunt van dit bronnenonderzoek. Dit is aangevuld met internationale en beperkte lokale wetenschappelijke literatuur. Lokale ervaringsdeskundigen zoals beroepsvissers gaven veel bruikbare lokale informatie, zoals gedrag van vis in de spui om en het voorkomen van concentraties vis.

Naast het kennisoverzicht geeft het bronnenonderzoek ook een overzicht van de kennisleemtes. De belangrijkste kennisleemten m.b.t. het ontwerp en inrichting van de VMR zijn:

- Passage efficiëntie per soort van het spui-complex in de huidige situatie
- Ruimtelijk zoekgedrag: verschilt per soort en op welke schaal vindt dit plaats
- Benutting van kortdurende migratievensters met passeerbare omstandigheden per soort
- Acclimatisatie-eisen van intrekende vis bij zout-zoet overgangen
- Predatieverliezen en -risico's door visetende vogels en roofvis
- Areaalgroottes en zoet-zout dynamiek die nodig zijn om zoet-zout overgangen ook als leefgebied te benutten.
- Rendement van afzonderlijke herstelmaatregelen voor verschillende populaties

Deze kennisleemtes die binnen het bronnenonderzoek naar voren zijn gekomen zijn vervolgens voorgelegd aan nationale en internationale experts, waarbij soms aanvullende kennis is aangeleverd en meestal werd bevestigd dat deze kennis ontbreekt.

Op basis van de beschikbare informatie en gegevens is een inschatting gemaakt van de verwachte meerwaarde van de VMR ten opzichte van de huidige situatie. Het huidige passage succes is voor veel

doelsoorten slecht bekend en is in deze studie ingeschat als relatief hoger voor sterke zwemmers als zalm, zeeforel en zeeperk, en het laagst voor zwakke zwemmers als bot en driedoornige stekelbaars. De intrekbelemmering voor glasaal is onbekend, wel treedt er op zijn minst flinke vertraging op in de intrek en wellicht een lager intreksucces. De aantrekkende werking van de VMR (attractie-efficiëntie) wordt voor de doelsoorten als matig tot hoog ingeschat, afhankelijk van de uitvoering en mogelijkheden middels beheer tot optimaliseren met voortschrijdend inzicht na realisatie van de VMR. Het feit dat er direct voor en na de spui uitsluitend lokstroom uit de VMR komt vergroot waarschijnlijk de attractie-efficiëntie. Het vinden van de ingang is een cruciale factor. Eenmaal in de VMR schatten we in dat de passage-efficiëntie erg hoog zal zijn voor alle doelsoorten omdat de passeerbaarheid en stromingscondities tenminste een deel van elk getij gunstig zijn voor succesvolle passage van zowel actieve als passieve (met retourstroming naar binnen drijvende) migranten. Voor de doelsoorten wordt voor de zwakke zwemmers bot, driedoornige stekelbaars en anadrome spiering een substantiële toename in populatie verwacht; voor steur, zalm, elft, aal, houting, rivierperk, zeeforel en zeeperk zal deze bijdragen aan een herstel van de populaties; voor fint die hoge eisen stelt aan estuaria om succesvol te kunnen paaien en opgroeien zal de VMR hiervoor waarschijnlijk niet toereikend zijn.

Als belangrijkste aanbevelingen en aanscherpingen van de randvoorwaarden en ontwerpeisen zoals die in de haalbaarheidsstudie zijn opgesteld kan worden genoemd:

- Brede groep van trekvis, zowel zwakke als sterke zwemmers. Focus op intrek is terecht, uittrek wordt niet of nauwelijks belemmerd door de spuisluizen.
- Dag/nacht en jaarrond functioneren VMR; noodzakelijk gezien verschillen in timing per soort
- Optimale lokstroom en locatie ingang VMR; gezien onzekerheid in zoekgedrag en voorkomen concentraties aanbevolen om twee ingangen (kop westelijke pier en in spuikom direct westelijk van spuisluizen) met afsluiters.
- Aanwezigheid van retourstroom richting IJsselmeer; uniek aan de VMR en faciliteert intrek van botlarven en andere zwakke zwemmers.
- Inrichting VMR; zo natuurlijk mogelijk wat betreft substraat (zand) en stromingscondities in met het tij wisselende richting en enkele meters diep.
- Inrichting VMR koker door Afsluitdijk; dimensies 5x2 m lijken ruim voldoende voor alle soorten (ook steuren van 3m). Turbulentie en plotse versnellingen in waterstroming moeten worden geminimaliseerd. Verlichting in de koker is zeer waarschijnlijk niet noodzakelijk. Regelbare schuiven om tijdelijk gedurende getij stroming te remmen lijkt beter dan continue remming door vaste structuren of ruwe wanden.
- Brakwaterareaal van 100 ha in VMR aan IJsselmeerzijde; deze eis is met huidige kennis moeilijk te onderbouwen. De noodzaak tot acclimatisatie van intrekende vis in brakwater lijkt alleen voor fintachtigen en wellicht zeer jonge levensstadia zoals botlarven van belang. Als leefgebied zal een grotere diversiteit in habitats en zout gradiënten middels zijarmen en verdiepingen waarschijnlijk voordeel opleveren voor een deel van de trekvis en estuariene residente vissoorten. Welke arealen hiervoor nodig zijn is niet goed bekend.
- Ingang van de VMR aan de IJsselmeerzijde; zolang mogelijk ophouden en sturen op zoutgehalte lijkt de voorkeur te hebben om ook selectief getijdetransport tot in IJsselmeer mogelijk te maken. Eventueel kan een dubbele schuif worden ingezet.
- Terugkeer van uitgespoelde zoetwatervis; dit lijkt niet eenvoudig te faciliteren. Het is de vraag hoe groot het uitspoel probleem is. er is lange tijd een goede visstand op het IJsselmeer geweest, terwijl er toen vergelijkbare uitspoeling optrad. Er wordt aanbevolen de omvang van dit probleem op populatie-niveau nader te bepalen
- Afstemming spuiregime op wisselwerking met VMR; aanbeveling hier gericht onderzoek naar te doen en deze ook na eventuele realisatie proefondervindelijk verder te optimaliseren.

In het voorjaar van 2014 komen middels diverse aanvullende VMR-studies bij Kornwerderzand nieuwe kennis beschikbaar die gebruikt kan worden tot het verder aanscherpen en invullen van bovenstaande kennisleemten en aanbevelingen voor ontwerp, inrichting en beheer van VMR.

Summary

The Zuiderzee, a natural estuary in the North of the Netherlands was closed in 1932 with the construction of the Afsluitdijk Dam. Besides the disappearance of a salinity gradient and creating a whole new freshwater ecosystem, the Afsluitdijk has had a major impact on fish migration between fresh and salt water. Some fish species adapted to the new situation and others disappeared. The Afsluitdijk Dam has two discharge sluice complexes where excess freshwater mainly from the River IJssel, one of the three lower branches of the River Rhine, is discharged to the Wadden Sea. The direction of the water is always towards the Wadden Sea and the doors of the sluices are opened at low tide to prevent that salt water will enter the freshwater lake. During the discharge of freshwater, only strong swimming fish species can negotiate the water velocities occurring at the start and end of a discharge event, thus migrating between fresh and salt water. But this fish will be confronted with high water velocities up to 4.5 m/s, short migration windows and an abrupt transition from salt water to fresh water. These problems are causing blockage, delay or a higher risk of predation especially concerning upward migrating fish which want to spawn or seek for nursery habitats in the fresh water lake or upstream located rivers. It is assumed that downstream migrating fish will not be hampered apart from some delay during their descent to the sea.

During the past decades several 'fish friendly' discharge schemes were in operation, but most of these are not ideal or facilitate only the strong swimmers like salmon or sea trout to some degree. To mitigate migration problems for fish a large fish passage has been conceptualised which provides migratory opportunities for fish to reach the freshwater. An artificial 'Fish Migration River' (FMR) of 6 km long provides longer migration windows, has much lower water velocities compared to the discharge sluices and temporarily even facilitates an incoming flow from the Wadden Sea to lake IJsselmeer. The latter allows weak swimmers like flounder larvae to drift inside using Selective Tidal Transport. The current FMR design foresees three parts: a 2 km long sea part, a 100m long 5x2 m tube through the dyke and a 4 km long freshwater/brackish part. The lake-inlet of the river and the tube through the dyke contain doors to prevent salt water to enter the freshwater lake. The idea of the FMR is that it can remain opened before and after the discharge sluices are being opened creating longer opportunities for fish to enter the freshwater lake.

To come up with advice on the design and management of the FMR, a literature study has been carried out to collect relevant knowledge on the behaviour of diadromous (i.e. between sea and rivers migrating) fish species during upstream migration towards freshwater. Target species were: Atlantic sturgeon (*Acipenser sturio*), flounder (*Platichthys flesus*), allis shad (*Alosa alosa*), twaite shad (*Alosa fallax*), European eel (*Anguilla anguilla*), three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*), river lamprey (*Lampetra fluviatilis*), smelt (*Osmerus eperlanus*), sea lamprey (*Petromyzon marinus*), Atlantic salmon (*Salmo salar*), sea trout (*Salmo trutta*) and North Sea houting (*Coregonus oxyrinchus*). This literature study gives an overview of the population status in relation to the Afsluitdijk, timing of migration, migration and orientation behaviour, swimming capacity and passage strategies. The information is given in for each species separately and in addition also aggregated per theme.

The sources for this literature review were peer reviewed scientific literature, grey literature and interviews with local fisherman and national and international experts. Local information was considered most important, when absent followed by regional knowledge, national knowledge and international knowledge. If there was little or no information for a given fish species, we searched for related species.

In addition to the presented information available, gaps in knowledge were identified as well:

- Passage efficiency per species in the current situation is mostly unknown
- Spatial searching behaviour; species specific differences and at what scales?
- Ability to use short lasting migratory windows in time per species
- Demands on saline gradients or presence of brackish water for acclimatisation during transit

- Predation losses due to fish eating birds and predatory fish
- Surface areas and saline dynamics needed to use brackish zone as habitat
- Overall effectiveness of different restoration measures in rehabilitating migratory fish populations

These knowledge gaps were presented to national and international experts, which yielded some new unpublished information and mostly confirmed that these were knowledge gaps.

Based on the available information we assessed the added value of the FMR compared to the current situation. Current passage efficiency is poorly known and was assessed to be relatively high for salmon sea trout and sea lamprey, and poor for flounder and three-spined stickleback. For glass eel this is unknown and at least severe delay occurs and perhaps lowered passage success. The attraction efficiency of the FMR was assessed to be moderate to high for the target species, depending on the built-in possibilities to adapt and optimise management with increasing insight in behaviour and effectiveness after the construction of the FMR. Attraction efficiency is probable higher due to the longer duration of the attraction flow compared to the discharge events through the sluices. Finding the entrance is a crucial factor. Once present in the FMR passage efficiency is estimated to be very high for all target species due to the fact that each tidal cycle part of the time favourable conditions for passage are present for both active and passive migrants drifting along when incoming flow occurs. For flounder, threespined stickleback and anadromous smelt, a substantial increase in population can be expected, for sturgeon, salmon, allis shad, eel, houting, river lamprey, sea trout and sea lamprey a contribution to the rehabilitation of populations is expected, whereas for twaite shad it was assessed that the FMR cannot make up for the loss of a fully functioning estuary needed for spawning and nursery.

The most important recommendations for the preconditions and final design of the FMR are:

- Wide range of migratory species with focus on inward migration, seaward migration is not hampered by the discharge sluices
- Day/night year-round necessary given variation in migratory timing between species.
- Optimum attraction flow and location of the entrance; given uncertainties in searching behaviour and appearance of aggregations it is recommended to provide two entrances west from the sluices (top of pier and directly adjacent to sluices) that can be closed separately.
- Presence of inward directed flow; unique for the FMR and facilitates flounder larvae and other weak swimming migratory species
- Natural substrates (sand) and flow conditions (changing direction with tides) within FMR
- Tube through the Afsluitdijk; dimensions 5x2 m appear suitable even for 3m sturgeons.
- Turbulence and sudden acceleration of water flows are to be minimized, lighting of the tube seems redundant, adjustable doors to temporarily lower water flows
- Brackish area of 100 ha is hard to underpin with current knowledge. The need for acclimatisation of target species is perhaps only needed for shads and young stages like flounder larvae. For use as brackish habitat, heterogeneity through side arms or deeper pools might increase habitat quality. Which surface areas are needed is unknown for the species.
- Entrance on IJsselmeer side should be open as long as possible to enable passive drift into the lake, where stirring on salinity appears best, but a double door might be an alternative.
- Return of freshwater fish washed out appears difficult to realise. The question remains how large this wash out problem is. Fish stocks on IJsselmeer have been good for many years when washing out occurred as well. We recommend to study the effects of washing out on population levels.
- Adjusting the discharge regime to optimize the efficiency of the FMR; through directed study and subsequent implementing during the operation of the FMR after construction.
-

During the first half of 2014 additional FMR studies at Kornwerderzand come available that can be used to further adjust and fill in the above recommendations for the design and management of the FMR and address some of the identified knowledge gaps.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van de Vismigratierivier

De Afsluitdijk vormt als onderdeel van de Zuiderzeewerken een belangrijke waterkering tussen de Waddenzee en het IJsselmeergebied. De 32 kilometer lange dijk is aangelegd tussen 1927 en 1932. De sluiting van de Afsluitdijk heeft grote gevolgen gehad voor de migratie van vis tussen de Zuiderzee en de aangrenzende rivieren. Bij het ontstaan van het IJsselmeer in 1932 werd een groot zoetwaterbassin gecreëerd, welke grote effecten heeft gehad voor de flora en de fauna in het IJsselmeergebied. Waar voorheen een natuurlijke gradiënt in saliniteit en getijstrooming bestond, is deze met de komst van de Afsluitdijk verdwenen. De veranderde situatie heeft gevolgen voor onder andere diadrome vissen die heen en weer zwemmen tussen zoet en zout water. In plaats van een natuurlijke overgang van zoet naar zout is de grens tussen het zoete en het zoute water nu veel 'harder' en is de waterstroom alleen richting de Waddenzee gericht. De Afsluitdijk biedt met twee spuisluiscomplexen en scheepvaartsluizen bij Den Oever en Kornwerderzand maar een beperkte mogelijkheid voor vis om heen en weer te zwemmen tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. Van nature loopt het verschil van eb en vloed in een estuaria of overgangswater geleidelijk. De dynamiek van de uitwisseling van water tussen het IJsselmeer en Waddenzee is nu sterk gecontroleerd en brengt grote 'onnatuurlijke' stroomsnelheden van enkele meters per seconde bij de spuicomplexen met zich mee. Trekkende vissoorten ondervinden momenteel beperkingen door de Afsluitdijk tijdens de migratie van de Waddenzee naar het IJsselmeer of andersom. Dit heeft gevolgen voor de populaties van deze soorten.

Een 'Vismigratierivier Afsluitdijk' (VMR), aan te leggen bij Kornwerderzand, zou kunnen bijdragen in het beter passeerbaar maken van de Afsluitdijk. De Vismigratierivier heeft tot doel om trekvis, vissen die voorkomen in het estuariene gedeelte en zoetwatervissen die tijdens spui naar zee zijn gespoeld de mogelijkheid te bieden om richting het IJsselmeer te migreren. Het hoofddoel is het optimaliseren van visbestanden in de Waddenzee, het IJsselmeer en de bovenstroomse rivier- en beeksystemen. De kern van het project is de aanleg van een nieuwe waterdoorgang door de Afsluitdijk, ingebed in een ontwerp dat zorgt voor een geleidelijke zoet-zout overgang met een natuurlijke inrichting. De doelen van het project Vismigratierivier Afsluitdijk zijn:

1. Realisatie van een robuuste, kwalitatief hoogwaardige natuurverbinding tussen de twee grote natuurgebieden IJsselmeer en Waddenzee;
2. Realisatie van een economische impuls voor de sector recreatie & toerisme op de Afsluitdijk en daarmee voor de provincies Friesland en Noord-Holland;
3. Realisatie van een concrete locatie om uitleg te geven over en het zichtbaar maken van de migratie van trekvis en het belang van goede zoet-zout overgangen;
4. Versterken en verrijken van de vispopulaties in het IJsselmeer en de Waddenzee door de migratieroute voor trekvis te herstellen;
5. Bijdragen aan de ontwikkeling van een economisch toekomstperspectief voor de sport- en beroepsvisserij in het IJsselmeer en de Waddenzee.

Het ontwerp en ook de daadwerkelijke komst van de Vismigratierivier staat nog niet vast. In 2012 is in opdracht van Het Programma naar een Rijke Waddenzee een projectplan ontwikkeld (PNRW, 2013) en in 2013 worden vervolgstappen in het proces gezet. Het civiel-technisch uitwerken van het concept en koppelingen aan de plannen van de verbetering van de Afsluitdijk en vervolgstudies zijn belangrijke pijlers van het proces.

1.2 Kennisvragen van het bronnenonderzoek

Deze rapportage is een bureaustudie naar kennis over gedrag van vis bij zoet-zout overgangen. Hierbij is in eerste instantie in regionaal en Europees verband gezocht, maar in geval van kennishiaten is literatuur

uit andere werelddelen ook in beschouwing genomen. Deze bronnenstudie geeft concrete aanbevelingen voor technische oplossingsrichtingen van de vismigratierivier, bijvoorbeeld ten aanzien van te gebruiken materiaal voor de bodem, stroomsnelheid, wel of niet aanleggen rustplekken, lengte vismigratierivier en oppervlakte brakwatergebied. Deze bronnenstudie kan worden gezien als een actualisatie van het in 2001 opgestelde rapport "Verbetering van vismigratie door de Afsluitdijk (de Boer, 2001), waarbij zowel meer recentere literatuur en bronnen zijn geraadpleegd als een verdere afbakening van de factoren en kennis die beschikbaar is die bij kan dragen tot een optimaal ontwerp en inrichting van de Vismigratierivier.

Het resultaat van deze bronnenstudie is een 'best practice' rapport dat inzage geeft in de actuele wetenschappelijke kennis rond het gedrag van intrekkende vissen in en rond zoet-zout overgangen (estuaria). Het resultaat omvat voor de doelsoorten een overzicht van de (meest actuele) informatie over:

- migratieperiode (toegespitst op de Afsluitdijk)
- minimum en maximum te overbruggen stroomsnelheden, over korte en langere tijd;
- minimum en maximum waterdiepte;
- te verwachten verblijfstijd in de VMR/overgangszone (de tijd die nodig is voor fysiologische aanpassing van zout naar zoet, input voor wel of geen aanleg soortspecifiek verblijfsgebied in VMR);

Het rapport beschrijft concrete technische optimalisaties en aanscherpingen t.a.v. het programma van eisen dat is gepresenteerd in het Vismigratierivier, Afsluitdijk, Haalbaarheid en Projectplan Vismigratierivier (PNRW, 2013). Hierbij kan gedacht worden aan zaken die invloed hebben op de effectiviteit van de vismigratierivier en de vismigratierivier als brakke overgang.

1.3 Aanpak en leeswijzer rapportage

In hoofdstuk 2 worden het studiegebied, de gevolgde werkwijze en de geraadpleegde typen bronnen beschreven. De resultaten van het bronnenonderzoek worden in hoofdstuk 3 en 4 weergegeven. Hierbij worden in hoofdstuk 3 de bevindingen per vissoort gepresenteerd en op welke wijze doelsoorten gegroepeerd zouden kunnen worden. Hoofdstuk 4 geeft de bevindingen weer vanuit processen en thematische onderwerpen binnen vismigratievraagstukken bij Kornwerderzand. Hierdoor zit er overlap in de presentatie van bevindingen tussen beide hoofdstukken, maar is het gemakkelijker om zowel een goed overzicht te krijgen van wat beschikbaar is per vissoort als ook wat er beschikbaar is op een bepaald onderwerp of thema voor alle vissoorten tezamen. In hoofdstuk 4 worden daarnaast ook meer algemene aspecten zoals passage rendementen behandeld. In hoofdstuk 5 worden de gevonden resultaten en gevolgde werkwijze van het bronnenonderzoek bediscussieerd en wordt aangegeven over welke onderwerpen voldoende kennis beschikbaar is en waar belangrijke kennisleemtes liggen. In hoofdstuk 6 worden de bevindingen van het bronnenonderzoek gebruikt om de ontwerpisen te toetsen en aanbevelingen en overwegingen gegeven om te komen tot een optimaal ontwerp en inrichting van de verschillende onderdelen van de Vismigratierivier.

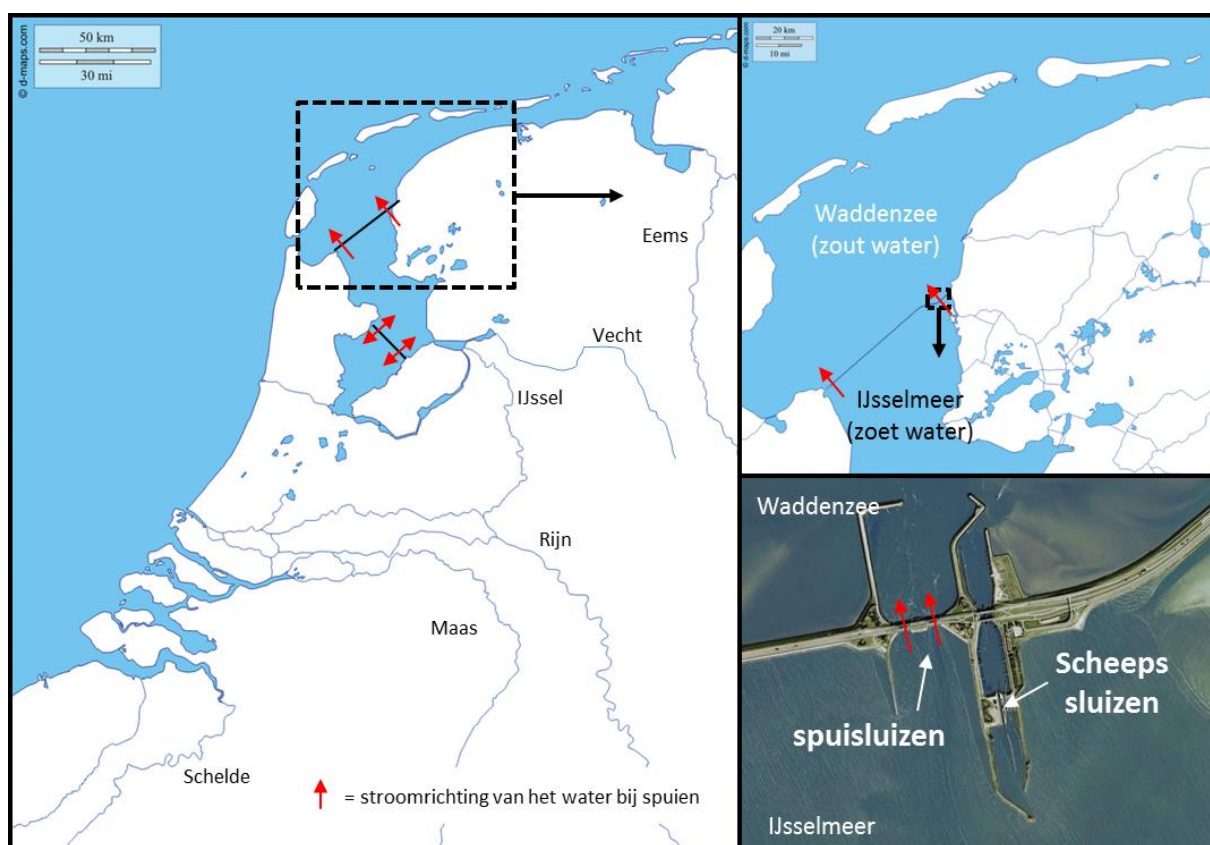
Tijdens de uitvoering van het bronnenonderzoek heeft een externe begeleidingsgroep meegedacht over de aanpak, de opzet van het rapport en tussentijds de inhoud gereviewd. Daarnaast zijn de tussentijdse uitkomsten van het bronnenonderzoek tijdens een expert-meeting bediscussieerd.

2 Methode bronnenonderzoek

2.1 Gebiedsbeschrijving

2.1.1 Huidige situatie Afsluitdijk

De Afsluitdijk is in 1932 voltooid en heeft geleid tot een harde grens tussen de zoute kustzone (Waddenzee) en het zoete water in het IJsselmeergebied. In 1976 is een tweede dijk aangelegd die het IJsselmeer verder heeft opgedeeld in het huidige IJsselmeer en het Markermeer. Beide dijken kennen in totaal vier spuicomplexen met een combinatie van scheepvaartsluizen en spuisluizen (Figuur 2-1). De IJssel is de belangrijkste rivier die via het Ketelmeer in het IJsselmeer uitmondt. De IJssel is één van de drie riviertakken, naast de Nederrijn en de Waal, die toegang geeft tot de bovenstroomse delen van de Rijn. Daarnaast biedt het IJsselmeer via het Ketelmeer en Zwarte Meer toegang tot het stroomgebied van de (Overijsselse) Vecht. Naast de rivieren Vecht en IJssel wateren er ook vele polder- en boezemgebieden af op het IJsselmeer (met name in Friesland, Flevoland en Noord-Holland).



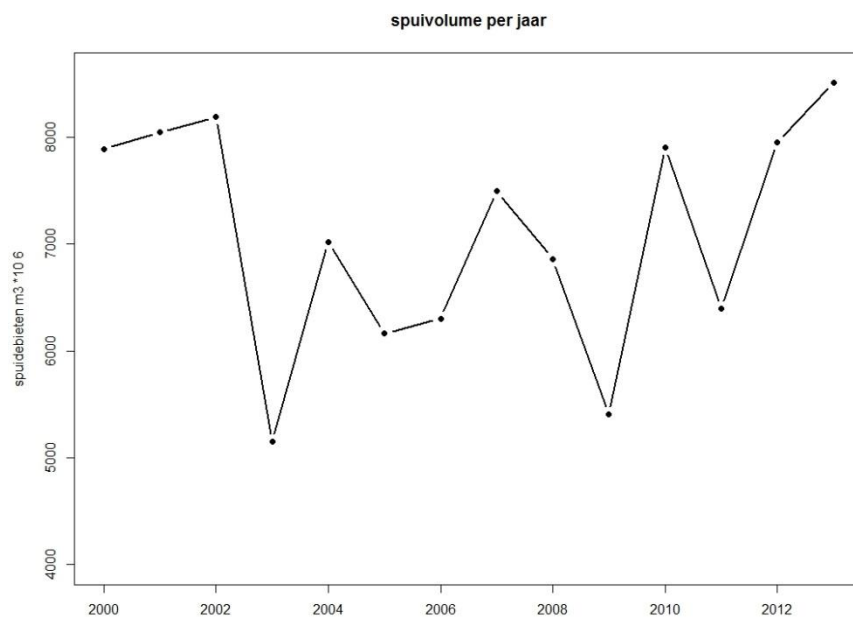
Figuur 2-1. De locatie van de Afsluitdijk die het vroegere Zuiderzee estuarium heeft afgesloten van de Waddenzee (1932). In 1976 is de aanleg van de Houtribdijk afgerond die het Markermeer heeft afgesloten van het huidige IJsselmeer. In de Afsluitdijk zijn twee complexen Den Oever en Kornwerderzand met scheeps- en spuisluizen (rechtsonder) die zoet water richting de Waddenzee lozen. In de Houtribdijk twee scheeps- en spuisluizen-complexen beide kanten op zoet water kan spuien afhankelijk van een streefpeil. De Vismigratie rivier is gepland bij Kornwerderzand (zie inzet rechtsonder).

De twee spuicomplexen in de Afsluitdijk spuien het overtollige zoete water richting de Waddenzee. Dit gebeurt bij afgaand tij (eb) om 'zoutindringing' vanuit de Waddenzee te voorkomen. Het water uit het IJsselmeer wordt immers gebruikt voor de landbouw en drinkwater en mag geen zout water bevatten. Beide complexen samen hebben vijf groepen van vijf spuikokers (Figuur 2-2). Den Oever heeft drie groepen van vijf spuikokers. Kornwerderzand heeft twee groepen van vijf spuikokers. Het openzetten van de schuiven gebeurt bij afgaand tij (eb) wanneer het waterpeil in de Waddenzee 10 cm lager is dan in het IJsselmeer. Het water uit het IJsselmeer stroomt dan onder vrij verval richting de Waddenzee. Om te waarborgen dat er ook aan het einde van het spuien geen zout water in het IJsselmeer komt, wordt er gespuid totdat er weer 10 cm peilverschil is, waarbij het water in het IJsselmeer 10 cm hoger staat dan het waterpeil in de Waddenzee. Bij de Houtribdijk (Figuur 2-1) kan er wel, afhankelijk van het streefpeil, water heen en weer worden gespuid omdat het hier een zoet – zoet overgang betreft. In zeer droge of zeer natte periodes wordt er respectievelijk minder (of niet) of maximaal gespuid. Dit geldt voor beide complexen. Een enkele spuikoker, waarvan er in de Afsluitdijk 25 zijn, bestaat uit twee deuren: een noorddeur aan de Waddenzeezijde en een zuiddeur aan de IJsselmeerzijde. Deze deuren worden bij aanvang van het spuien achtereenvolgens geopend.

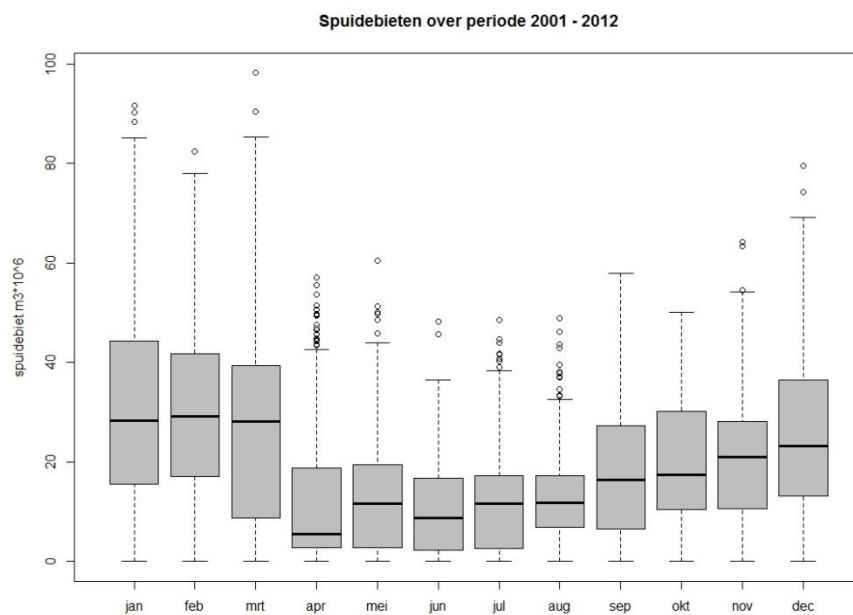


Figuur 2-2. Kaartjes met de spuicomplexen bij Den Oever en Kornwerderzand. Den Oever heeft drie groepen van vijf spuikokers en Kornwerderzand heeft twee groepen van vijf spuikokers. Bij de buitenste schuiven van elke groep van spuikokers (rode pijlen) kan aangepast spuibehoor worden toegepast (paragraaf 2.1.2), waarbij de schuiven op een kier worden gezet. Een kier wordt gecreëerd doordat de schuiven maar gedeeltelijke worden opengezet en er een kleine ruimte ontstaat tussen de onderkant van de schuif en de bodem (zie Figuur 2-5).

Het gespuide volume zoetwater varieerde in de periode 2000-2013 tussen 5150 en 8507 miljoen m³ (Figuur 2-3). Er is grote variatie in het gespuide debiet per dag, variërend van 0 tot 100 miljoen m³, waarbij er in de maanden januari-maart gemiddeld het meest en in de maanden april-augustus gemiddeld het minst wordt gespuid (Figuur 2-4).



Figuur 2-3. Spuidebieten bij Kornwerderzand in 10^6 m^3 per jaar periode 2000 – 2013.



Figuur 2-4. Variatie in dagelijkse spuidebieten bij Kornwerderzand in 10^6 m^3 weergegeven per maand over de periode 2001 – 2012.

2.1.2 Aangepast spuibeheer ten behoeve van vismigratie in verleden

Beheersmaatregelen in het verleden

Omdat het water bij het spuien onder vrij verval grote stroomsnelheden bereikt, kan dit problemen opleveren voor vissen die vanuit de Waddenzee richting het IJsselmeer willen zwemmen. De stroomsnelheden lopen op tot enkele meters per seconde. Kolvoort & Butijn (1990) geven een stroomsnelheid van 4.5 m/s aan bij een geheel geopende sluis (Kolvoort & Butijn 1990). Deze stroomsnelheid loopt, na het openen van de sluis, binnen een half uur terug naar iets meer dan 2 m/s (Kolvoort & Butijn 1990).

Diadrome vissen zijn vissen die heen en weer zwemmen tussen zoet water en zout water (of andersom) op weg naar plekken waar ze opgroeien of naar plekken om te paaien. Alle diadrome vissen passeren een zoet-zout overgang tenminste twee keer in hun leven. Eén keer als adult en één keer als juveniel. De Afsluitdijk vormt een grote onnatuurlijke barrière tussen de migratie van zout naar zoet (of andersom) die alleen via de spuisluizen en met de schuttingen in de scheepvaartsluizen mee (Figuur 2-1), passeerbaar is voor diadrome vissen. Om deze reden heeft Rijkswaterstaat in het verleden geregeld het spuibeheer aangepast ter optimalisatie van de vismigratie. Zo is er vóór 1960 geprobeerd in het voorjaar bij Den Oever middels *loze schuttingen* (schuttingen zonder scheepvaart) met de spuisluizen glasaal naar binnen te laten (Dekker & van Willigen 2000). Hierbij werd de noorddeur en de zuiddeur achtereenvolgens opengezet, waarbij de zuiddeur pas openging als de noorddeur dicht was. Het idee hierbij was dat de glasaal naar binnen kon zwemmen richting het IJsselmeer (Dekker & van Willigen 2000). Na 1960 is er overgestapt op een ander type beheer, het zogenoemde *glasaal-inlaten* waarbij de spuisluizen op een kier van enkele centimeters stonden tijdens laag water. Hierdoor ontstond er een opening tussen de onderkant van de schuif en de bodem.

Huidige en toekomstige beheersmaatregelen

Sinds 2003 worden, indien mogelijk wat betreft de hoeveelheid te spuien water, de buitenste schuiven van elke groep van vijf spuiokers op een kier (50 centimeter vanaf de bodem) gezet (oranje pijlen in Figuur 2-5). Alle andere schuiven worden volledig opengezet (rode pijlen in Figuur 2-5). Voor het aangepast spuibeheer kunnen er in totaal tien spuiokers worden gebruikt (Figuur 2-2). In het aangepast beheer kan de overall stroomsnelheid van het water in een spuioker flink worden verminderd door de schuiven niet helemaal open te zetten. Hierdoor wordt het water in de spuioker geremd door de kier. Er ontstaat een 'geknepen toestand' waarbij vissen alsnog, maar over een korte afstand onder de deur, moeten 'sprinten' om de koker te passeren (Figuur 2-5). Voorheen werd aangenomen dat wanneer de schuif enkele centimeters is geopend ten behoeve van de glasaalintrek (zie Tabel 1), de stroomsnelheden bij de laagste waterstand in de spuioker werd geremd tot 0.1 m/s, maar direct onder de schuif traden alsnog snelheden op van 2.0 m/s (Kolvoort & Butijn 1990). Na het passeren van de kier ondervinden ze geringere waterstroming in de gehele waterkolom.

Er is gekozen voor de buitenste kokers zodat vissen via de zijkanten, waar het water minder hard stroomt hun weg kunnen vinden richting de 'geknepen' spuiokers (Willet 2004). Het visvriendelijk spuibeheer kan niet altijd worden toegepast. In tijden van weinig rivierafvoer of hoge rivierafvoer moet Rijkswaterstaat alle schuiven en kokers maximaal dicht houden of juist volledig open zetten. Ook bij windkracht 4 of hoger kan visvriendelijk sluisbeheer niet worden toegepast. Verder wordt het visvriendelijk sluisbeheer beperkt door de maximale capaciteit van de zoutwaterhevels. Voor kleine vissen en relatief zwakke zwemmers, zoals glasaal, spiering, driedoornige stekelbaars en bot, is deze vorm van visvriendelijke spuibeheer ongeschikt (RWS 2013b). Voor de kleine en relatief zwakke zwemmers zijn er voorbeelden bij Den Oever waarbij er middels 'loze schuttingen', schuttingen zonder scheepvaart, in de scheepssluizen alsnog vis het IJsselmeer kan binnen zwemmen (RWS 2013a). Hierbij wordt de deur van de Waddenzee kant 1.5 – 2 uur opengezet bij eb waarbij de vis naar binnen zou

kunnen zwemmen. Vervolgens wordt de deur dichtgezet en de deur aan de IJsselmeerzijde geopend, zodat de vis het IJsselmeer op kan zwemmen.

Oorspronkelijk is zowel bij Den Oever als Kornwerderzand een vispassage gepland. Deze wordt in Den Oever gerealiseerd in 2015. Na afstemming met de regio heeft staatssecretaris Atsma van Infrastructuur en Milieu besloten de tweede passage in de Afsluitdijk bij Kornwerderzand uit te stellen, zodat er onderzoeken kunnen worden uitgevoerd naar de Vismigratierivier (RWS 2012).

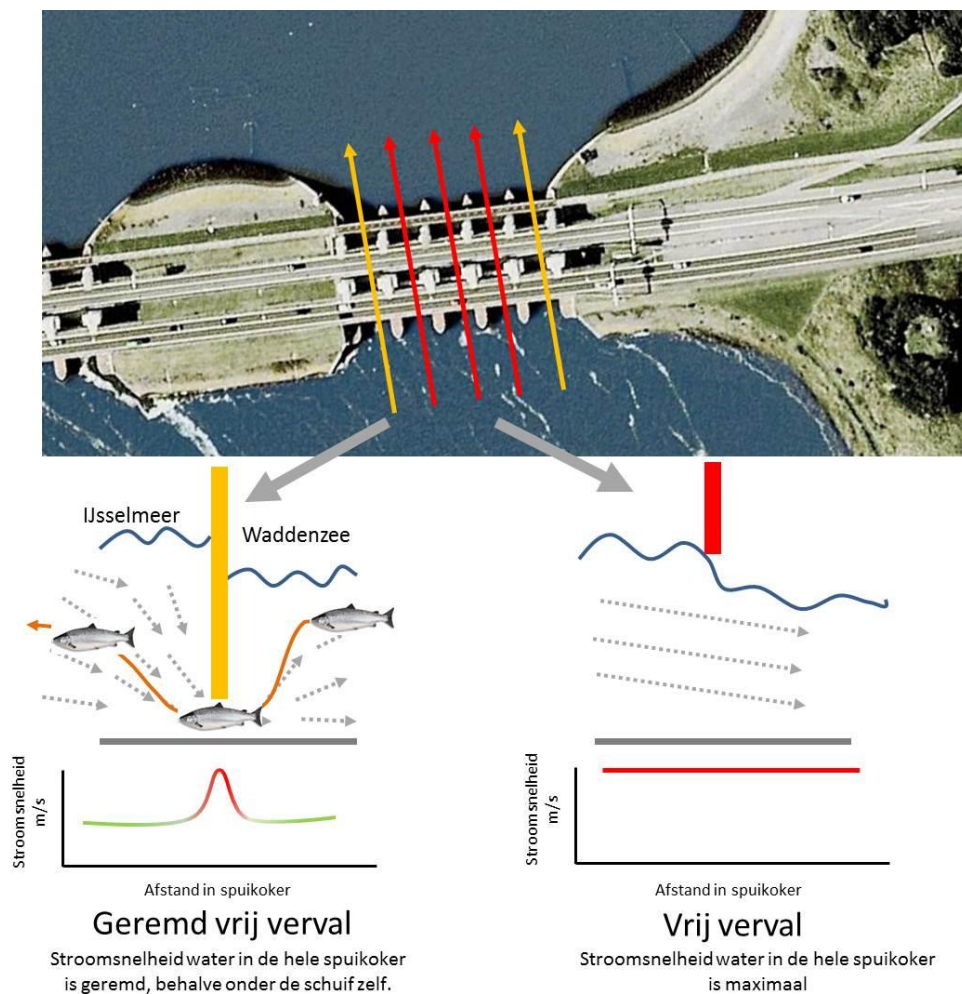
Tabel 1 Ontwikkelingen van beheersmaatregelen ter bevordering van het succes van de migratie tussen zout en zoet water bij de spuicomplexen in de Afsluitdijk. De tabel geeft een overzicht van de periode, de beheersmaatregel, de werking van de maatregel en het te verwachten effect voor de vis. Informatie verkregen uit (Dekker & van Willigen 2000), (Willet, 2004) en Bauke de Witte (pers. comm.).

periode	maatregel	werking	vismigratie
voor 1960 [‡]	Schuttingen met de spuisluisen ⁺	Noord en zuiddeur achtereenvolgens open, waarbij de zuiddeur opengaat als de noorddeur weer dicht is.	Vis zwemt actief de ruimte tussen de deuren in en vervolgens richting het IJsselmeer bij het openen van de zuiddeur.
Na 1960	Kier van enkele cm's tot 10 cm peil verschil [*]	Tien randkokers open op een kier. De stroomsnelheid in de spuikoker van het water werd flink geremd. Hoe groot de stroomsnelheid onder de deur was, is onbekend.	Vis zwemt actief tijdens spuien onder deur door.
1991-1993	Kier tot gelijk peil	Schuif beperkt open (50 cm), waardoor stroomsnelheid in de spuikoker wordt vertraagd. 1 maart tot 1 september.	Vis zwemt actief tijdens spuien onder deur door. In de spuikoker is de stroomsnelheid lager dan bij volledig geopende deur. Bij gelijk peil kunnen zwakkere zwemmers ook richting IJsselmeer passeren
1993 - 2003	Kier tot 10 cm peil verschil maart – augustus [*]	Schuif beperkt open (50 cm), waardoor stroomsnelheid in de spuikoker wordt vertraagd. maart t/m augustus.	Vis zwemt actief tijdens spuien onder deur door (zie Figuur 2-5)
2003 - heden	Kier tot 10 cm peil verschil jaarrond [*]	Schuif beperkt open (50 cm), waardoor stroomsnelheid in de spuikoker wordt vertraagd. Jaarrond, indien mogelijk. Toegepast bij buitenste twee kokers (zie Figuur 2-5).	Vis zwemt actief tijdens spuien onder deur door (zie Figuur 2-5)
Heden	Loze schuttingen in de scheepvaartsluizen	Schuttingen in de nacht zonder scheepvaart	Vis kan actief zwemmend via schuttingen naar binnen
Toekomst (2015)	Vispassage Den Oever	Hevel vispassage	Vis kan passief naar binnen worden 'overgeheveld' of actief zwemmen
Toekomst (2015)	Spuisluisen eerder open	Zout water wordt het IJsselmeer ingelaten. Het zoute water wordt vervolgens met een volgende spui weggespoeld en of weggepompt door een nog aan te leggen zout water retour systeem.	Vis kan actief zwemmend en of passief driftend met de stroom mee het IJsselmeer in.

[‡] Kolvoort & Butijn (1990) schrijven dat sinds 1938 een tiental kokers enkele centimeters worden gelicht gedurende de nacht ter bevordering van de glasaalintrek. Vethaak et al. (2013) geven echter net als Dekker aan dat de spuideuren pas na 1960 enkele centimeters zijn opgelicht ten behoeve van de intrek.

⁺ Een dergelijke beheersmaatregel is in 2009 door Witteveen + Bos getest op visintrek in het voorjaar (Witteveen+Bos 2009a)

^{*} Waterpeil van de Waddenzee is 10 cm lager dan het waterpeil in het IJsselmeer.



Figuur 2-5. Huidige situatie van het aangepast spuibeheer ten behoeve van vismigratie. In deze situatie worden de buitenste schuiven van elke groep spuikokers (5) op een kier gezet (oranje lijnen). De overige spuikokers worden wel volledig opgezet (rode lijn). Dit resulteert in gemiddeld lagere stroomsnelheden in kokers met een kort traject onder de schuif waar de stroomsnelheden even hoog zijn als met vrij verval, waardoor relatief sterke zwemmers als zalm en zeeforel betere passeermogelijkheden hebben.

NB In elke spuikoker zijn twee schuiven aanwezig, een noorddeur en een zuiddeur.

2.1.3 De Vismigratierivier (VMR)

Het project "Vismigratierivier Afsluitdijk" is een uniek project om het Nederlandse icoon de Afsluitdijk te vernieuwen (PNRW 2013). Het project heeft als doel om de ecologische barrière, die de Afsluitdijk voor trekvis is, op te heffen. De vismigratierivier zorgt er voor dat een brede groep trekvis, zoals de spiering, houting en zalm, weer de ruimte krijgt om hun paai-, leef- en opgroeigebieden in het IJsselmeer, de Friesche Meren, de Overijsselse Vecht en de IJssel te bereiken. Onderdeel van het project is de realisatie van een Bezoekerscentrum Vismigratierivier. Het project is niet alleen van belang voor natuur. Behalve voor natuur, heeft het project de ambitie om het gebied een krachtige, kwalitatieve impuls voor recreatie & toerisme (waaronder sportvisserij) en beroepsvisserij te geven. Daarnaast kan het project een nieuwe succesvolle vorm van eco-engineering met internationale uitstraling worden voor de Nederlandse waterbouwsector. De provincie Friesland en het Programma naar een Rijke Waddenzee hebben in overleg met de andere projectpartners een haalbaarheidsstudie naar de vismigratierivier uitgevoerd waarin een programma van eisen is opgesteld (PNRW 2013):

Het ecologische programma van eisen voor de vispassage Kornwerderzand

Voor het realiseren van een robuuste vispassage bij Kornwerderzand worden binnen het project de volgende programma-eisen voor een vispassage aangehouden:

- De vispassage zorgt voor een robuuste ecologische verbinding tussen Waddenzee en IJsselmeer. De vispassage zorgt voor een robuuste ecologische verbinding tussen twee belangrijke natuurgebieden in de delta van het Rijnstroomgebied. Vispassages werken vaak voor een aantal soorten optimaal, maar voor anderen veel minder. Bij kleine veranderingen loopt de effectiviteit terug. De vispassage moet qua schaal voldoende robuust worden uitgevoerd zodat deze minder gevoelig is voor veranderingen in de omgeving;
- De vispassage is gericht op de intrek van trekvisen. Het beperkende onderdeel in de vismigratieroute zijn de mogelijkheden voor intrek van trekvisen. Dit project richt zich dan ook op het verbeteren van de intrek mogelijkheden;
- De vispassage is geschikt voor een brede groep trekvisen. De vispassage moet goed functioneren voor een brede groep grote en kleine trekvisen. De doelsoorten voor de vispassage zijn spiering, driedoornige stekelbaars, glasaal, fint, elft, rivierprik, zeebek, houting, bot, zeeforel en zalm. Deze groep vertegenwoordigt een grotere groep trekvisen. Dit betekent dat de vispassage moet beantwoorden aan de vereisten (trekgedrag, zwemcapaciteit) van deze brede groep trekvisen. Vissen die zich passief met de vloedstroom laten meevoeren (o.a. glasaal, botlarven) kunnen ook gebruik maken van het systeem. De vispassage moet dus werken voor alle vissoorten, van de goede zwemmers tot de zwakkere zwemmers en vislarven die via getijdetransport naar zoet water migreren;
- Geen zoutbelasting IJsselmeer. De vispassage mag niet leiden tot verhoging van het zoutgehalte in het IJsselmeer. Vergroting van het zoutgehalte in het IJsselmeer is ongewenst vanuit de functies drinkwaterwinning en landbouw. De vispassage moet dus goed afsluitbaar zijn om dit te voorkomen;
- Geen significante beperking van de waterbergingscapaciteit van het IJsselmeer. Hierin wordt voorzien door een compacte vismigratierivier en wel zodanig dat het oppervlak van het benodigde terrein in het IJsselmeer zeer beperkt blijft. Gedacht moet worden aan een ruimtebeslag in het IJsselmeer van maximaal ca. 100-200 ha. Dat is slechts 0,1 tot 0,2% van het huidige oppervlak van het IJsselmeer (ruim 113.000 ha).

Deze programma-eisen zijn vertaald in meer specifieke ontwerpeisen. Dit zijn (PNRW 2013):

- Dag & nacht en jaarrond vispassage. Diadrome vissoorten, in verschillende levensstadia, die willen migreren tussen zoet en zout water moeten de Afsluitdijk dag en nacht, en jaarrond vrij kunnen passeren op de momenten dat het natuurlijk en mogelijk is binnen het getij. Vismigratie vindt namelijk in principe het gehele jaar door plaats, met pieken in het voor- en najaar voor de paaitrek. De vispassage is in principe altijd werkzaam; alleen in droge perioden kan de vispassage tijdelijk worden gesloten.
- Contact met diepere Waddenzee-geulen. De vispassage moet goed gepositioneerd zijn ten opzichte van de diepere geulen Doove Balg/Boontjes. Vanuit deze geulen is het grootste aanbod aan trekvisen aanwezig. Voor Kornwerderzand betekent dit dat de vispassage het best aan de westzijde van het spuicomplex kan worden gerealiseerd;
- De vispassage beschikt over een optimale lokstroom. De zoetwater-lokstroom in de Waddenzee is cruciaal voor de trekvisen. De belangrijkste lokstroom is het spuiwater van de Lorenzsluizen. De lokstroom van de vispassage moet hier qua planning in het getij, qua locatie en qua hoeveelheid (m³) optimaal op aansluiten. Bij rivieren wordt in algemene een lokstroom van 5-10% van de afvoer aangehouden. Voor een vismigratierivier in een intergetijdengebied bestaan geen referentiegetallen. De benedenstroomse opening van de vismigratierivier moet niet in het gebied met de grootste turbulentie en de hoogste stroomsnelheid net achter de spuisluizen liggen (De Boer, 2001);

- De vispassage beschikt over een brakwaterhabitat. Diadrome vissen moeten de mogelijkheid hebben om zich aan te passen aan de overgang van zout naar zoet water, in een brakwater-zone met een substantieel oppervlakte. Dit is voornamelijk belangrijk voor jonge vissen en vislarven;
- Inrichting van de passage. De inrichting van de vispassage moet worden afgestemd op het visgedrag van de diverse doelsoorten, waarbij de volgende aandachtspunten worden meegegeven (De Boer, 2001):
 - Een vispassage met bochten verdient de voorkeur boven een geheel rechte passage en de hoeken in de passage moeten kleiner zijn dan 90 graden;
 - Een niet overdekte passage heeft de voorkeur;
 - De vis moet op elke diepte in de passage kunnen zwemmen;
 - De passage moet bij voorkeur even diep zijn als de hoofdstroom
 - De vispassage moet zwemmend (dus niet springend) kunnen worden gepasseerd;
 - De bodem moet stabiel en variabel zijn zodat de waterstroom varieert;
 - De stroomsnelheid moet laag zijn, minder dan 0,50 m/sec, en de turbulentie in de passage moet beperkt zijn;
 - De waterstroom moet zo min mogelijk worden onderbroken en zonder abrupte onderbrekingen zijn;
 - Er moeten rustplekken in de passage aanwezig zijn;
- Bovenstroomse uitgang IJsselmeerzijde. De uitgang van de vispassage aan de IJsselmeerzijde moet aansluiten op het migratiepatroon maar wel zodanig dat terugspoelen voorkomen wordt. Voorkomen moet worden dat vissen die de voorziening zijn gepasseerd, direct weer bij de volgende spuibuurt naar buiten worden gespoeld. Daarbij moet de stroomsnelheid bij de opening lager zijn dan de gemiddelde kruisnelheid van vis, 0,50 m/sec, en moet er geen sprake zijn van een turbulente zone. De vis moet de opening tevens op elke waterdiepte kunnen passeren (De Boer, 2001);
- Terugkeergarantie zoetwater vis. Uitgespoelde (jonge) zoetwater vis moeten te allen tijde weer terug kunnen zwemmen naar het IJsselmeer;
- Aanleg vispassage separaat van spuimiddel. De vispassage wordt bij voorkeur los van het hoofdspuiwerk gebouwd. De bestaande spuiokers kunnen niet worden ingezet, omdat hiermee de waterafvoer van het hoofdspuiwerk wordt beperkt. Dit is dus vanuit waterkwantiteitsoverwegingen onwenselijk. Een aanvullende voorziening is daarom nodig om het waterkwantiteitsbeheer en het vismigratiebeheer goed naast elkaar te kunnen laten functioneren;
- Afstemming spuiregime op vismigratie. Het beheer van de verschillende spui locaties en de vispassage dient goed op elkaar worden afgestemd zodat er een maximaal vismigratie-rendement wordt gehaald. Dit kan bijvoorbeeld betekenen dat er altijd gestart/gestopt wordt met spuien via de vispassage; en dat de spuioker die het dichtst bij de vispassage ligt het eerst open gaat en het laatst weer sluit.

Specifiek voor de vismigratierivier

Op basis van het programma van eisen is de Vismigratierivier als vispassage ontwikkeld. In aanvulling op de bovengenoemde ontwerp-eisen voor een vispassage zijn voor de vismigratierivier nog een aantal onderdelen toegevoegd of verder uitgewerkt (PNRW, 2013):

- Het natuurlijke karakter. De vismigratierivier heeft het karakter van een natuurlijke getijderivier die gaat stromen als het laag water, tot stilstand komt als het gelijk tij is en (beperkt) terug gaat stromen als het hoog water wordt. Dit natuurlijke karakter met verschillende stroomsnelheden door het getij heen past goed bij de randvoorwaarden van de trekvis;
- De lokstroom. De vismigratierivier heeft een substantiële lokstroom van 10-20 m³/sec. Dit is een aanzienlijke lokstroom met optimale positionering in tijd en ruimte aan de Waddenzee-zijde;
- De lange openstand. De vismigratierivier kan langer open blijven staan dan de spuisluizen in de huidige situatie door het afgesloten, achterliggende gebied, waardoor het migratievenster voor de trekvis substantieel wordt vergroot;

- Aanwezigheid retourstroming zout water. De vismigratierivier beschikt over een (beperkte) retourstroming met zout water (terugstromend zout Waddenzee-water). Hierdoor kunnen zwakke zwemmers en larven op de voor hen natuurlijke manier met het getij mee migreren;
- Brakwater habitat. De vismigratierivier beschikt over een brakwater habitat van aanzienlijke omvang (circa 100 ha) dat de mogelijkheid biedt aan trekvissoorten om zich fysiologisch aan te passen in de overgang van de zoute Waddenzee naar het zoete IJsselmeer. Daarbij is een brakwater habitat een ontbrekend habitat in het deltagebied van de IJssel.

Hoewel het uiteindelijke ontwerp van de vismigratierivier nog niet is vastgesteld, wordt hier één van de ontwerp varianten beschreven en is in Figuur 2-6 een schematische weergave van dit ontwerp te zien met de werking van de vispassage in verschillende fasen van de getijcyclus. De vismigratierivier bestaat uit een estuarien gedeelte aan de Waddenzeekant dat door een dubbele afsluitbare sluis van de Waddenzee kan worden afgesloten. De buitenzijde bestaat uit een harde dijk. Door de Afsluitdijk wordt een rechthoekige betonnen koker aangebracht eventueel met stromingsremmers. Aan de IJsselmeerzijde wordt een riviersysteem aangelegd dat ook door een sluis kan worden afgesloten. De werking van de Vismigratierivier is als volgt: Bij hoogwater op de Waddenzee zijn de spuisluizen van Kornwerderzand en de vismigratierivier gesloten. De vismigratierivier heeft dan een peil dat beperkt hoger is dan het peil van het IJsselmeer (-30 cm NAP) en een brak milieu. Voordat de spuisluizen worden geopend wordt de vismigratierivier geopend. De inlaat aan de IJsselmeerzijde gaat niet vanaf het begin open om stroming van brak water naar het IJsselmeer te voorkomen. Vervolgens gaan de spuisluizen open en begint de spuiperiode. Door de spui wordt de stroming in de Vismigratierivier minder en uiteindelijk tegengesteld, waarbij als gevolg van vloed op de Waddenzee zout water het vismigratierivierbekken indringt. De vismigratierivier wordt aan de achterzijde in het IJsselmeer gesloten om zoutbelasting van het IJsselmeer te voorkomen. De vismigratierivier blijft nog maar een korte periode open staan om de hoeveelheid zout water die er binnenkomt te beperken. Vervolgens worden de spuisluizen gesloten en vervolgens ook de Vismigratierivier. In de Vismigratierivier is dan een brakwater habitat aanwezig.

De werking van de VMR kan in zes fasen worden opgedeeld (Figuur 2-6). Hierbij zijn in de VMR de afsluitdeur aan de IJsselmeerzijde (nr. 1. in Figuur 2-6) en de afsluitdeuren onder de Afsluitdijk in de koker (nr. 2 in Figuur 2-6) aangegeven. Bij de ingang van de VMR aan de Waddenzeezijde is geen afsluitdeur voorzien.

Fase 1

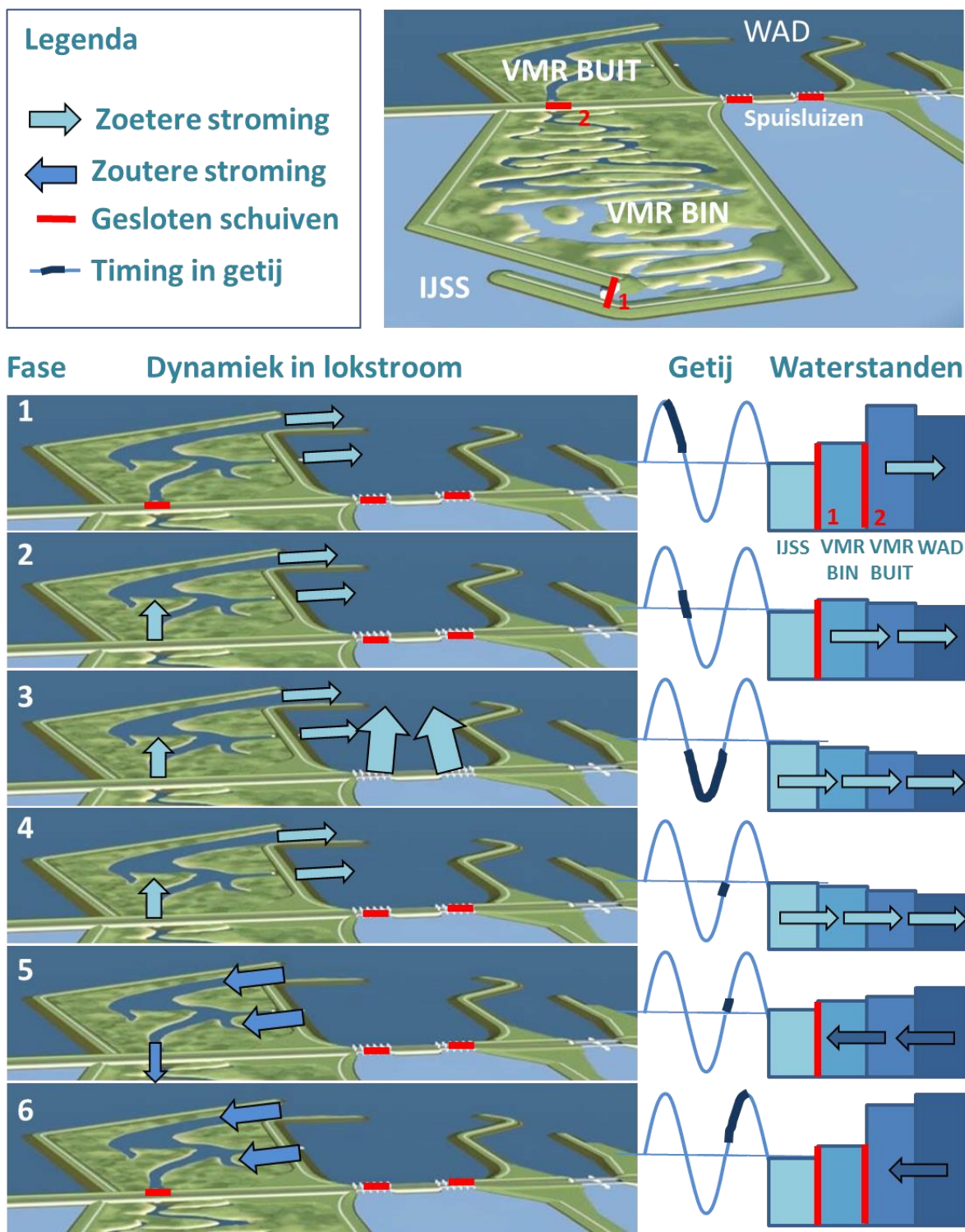
Het is afgaand tij de deuren bij de IJsselmeerzijde (nr. 1) en van de koker (nr. 2) zijn dicht. Er ontstaat een lokstroom van zoet / brak water. Deze lokstroom heeft in deze situatie geen concurrentie met de spuisluizen, deze zijn gesloten (rode lijnen bij de spuisluizen).

Fase 2

Het is gelijk peil tussen de Waddenzee en het IJsselmeer, maar het water in de VMR IJsselmeerzijde is hoger dan het peil in de Waddenzee. Wanneer de deuren van de koker open gaan (deuren nr. 2), ontstaat er een waterstroom onder Afsluitdijk door. De lokstroom heeft in deze situatie geen concurrentie met de spuisluizen, deze zijn gesloten (rode lijnen bij de spuisluizen).

Fase 3

Het waterpeil aan de Waddenzeezijde is 10 cm lager dan aan de IJsselmeerzijde. Volgens het reguliere spuiprogramma wordt er nu gestart met spuien en gaan de deuren van het spuicomplex open. Ook de deuren van de VMR bij nr. 1 gaan open. Hierdoor ontstaan er nu twee volledig open stromen. Eén door de VMR en één bij de spuisluizen.



Figuur 2-6. Schematische weergave van een model van de vismigratierivier (VMR) NB het definitieve ontwerp is nog onderwerp van discussie. Bovenin de figuur is de hele VMR te zien met een Waddenzeezijde en een IJsselmeer zijde. Onder de Afsluitdijk loopt een afsluitbare koker die de beide waterlichamen verbindt. De getijwerking en de daarbij behorende waterstanden worden in zes fasen weergegeven in de figuur. De stroomrichting van het water is hier ook bij getekend (donkerblauw = zout water, lichtblauw = zoet water) IJSS = IJsselmeer, WAD = Waddenzee, VMR BUIT = VMR buitenwadden gebied, VMR BIN = VMR IJsselmeerzijde

Fase 4

Er is 10 cm verschil in waterpeil tussen het IJsselmeer en de Waddenzee en het is opkomend tij. De deuren van de spuisluizen gaan dicht om zoutindringing te voorkomen. Alle deuren van de VMR blijven open en er is een vrij verval van zoet water richting de Waddenzee.

Fase 5

Door het opkomend tij, zal het waterpeil van de Waddenzee hoger komen te staan dan in het IJsselmeer. Om zout indringing via de VMR te voorkomen sluiten de deuren van de VMR aan de IJsselmeerszijde (nr. 1). Er ontstaat een waterstroom richting het IJsselmeer door de VMR.

Fase 6

Het is vloed en alle deuren in de VMR en de spuisluizen zijn gesloten. Er kan zout water in de VMR stromen met het getij-cyclus mee.

2.2 Aanpak bronnenonderzoek

Dit bronnenonderzoek geeft een overzicht van de beschikbare kennis van het gedrag van vis die relevant is voor de ontwerpen van de VMR. Per 'item' van de VMR en per vissoort is gericht gezocht naar de beschikbare kennis, zowel in wetenschappelijke als de grijze literatuur. Een item is een relevant onderwerp voor de VMR, zoals bijvoorbeeld het belang van een acclimatisatie zone voor vis om te wennen aan zoet of zout water of het passeren van een koker tijdens de migratie onder de Afsluitdijk door. Grijze literatuur zijn rapporten en verslagen die al dan niet 'peer reviewed' zijn maar niet zijn gepubliceerd in een wetenschappelijk tijdschrift. In figuur 2-7 is de aanpak schematisch weergegeven.

Lokaal

De belangrijkste informatie wordt verkregen door lokale kennis. Kennis die is opgedaan bij de Afsluitdijk en het spuicomplex Kornwerderzand. Wanneer er geen gepubliceerde rapporten of wetenschappelijke artikelen beschikbaar waren van vissoorten of onderwerpen is er gericht gevraagd bij lokale beheerders en beroepsvissers die het gebied goed kennen. Ook is er geëvalueerd in hoeverre de lokale ervaringsdeskundigen elkaar tegenspreken en of complementair zijn met de beschikbare kennis uit de literatuur. Als ervaringsdeskundige zijn de gebroeders van Malsen (beroepsvissers te Kornwerderzand) uitgebreid geïnterviewde. Ook is G. Manshanden die als beroepsvisser betrokken is geweest bij onderzoeken bij Kornwerderzand en Den Oever is telefonisch geïnterviewd.

Regionaal

Wanneer deze lokale kennis niet voldoende of afwezig bleek te zijn is er gezocht naar regionale kennis. Kennis over andere gebieden in Nederland die mogelijk inzichten geven die te gebruiken zijn voor de situatie bij Kornwerderzand. Wanneer de literatuur te kort schoot zijn er gericht vragen gesteld aan Nederlandse ervaringsdeskundigen en onderzoekers. Onder andere Peter Paul Schollema en George Wintermans hebben hier een rol in gespeeld.

Internationaal en verwante soorten

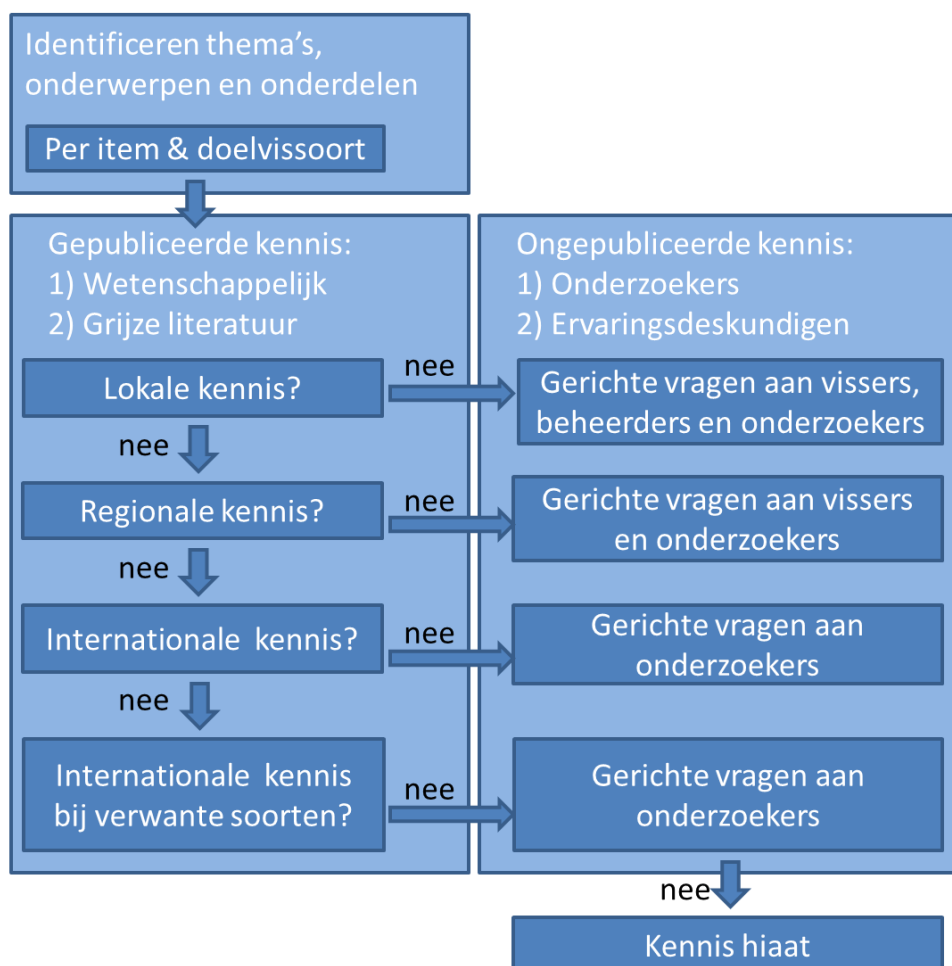
Wanneer de regionale kennis beperkt was is literatuur op internationaal niveau geraadpleegd en zijn er gericht internationale experts benaderd voor informatie over de gekozen onderwerpen en vissoorten. Hierbij zijn dr. Mary Moser (Verenigde Staten), dr. Ans Mouton (België), dr. Olle Calles (Zweden), dr. David Buijsse (België), Dipl. Ing. Jörg Scholle (Duitsland), prof. dr. Ralf Thiel (Duitsland), dr. Ulrich Schwevers (Duitsland) en dr. Radu Sucio (Roemenië) gericht bevraagd per telefoon en per email. Wanneer er in de literatuur over bepaalde soorten in combinatie met specifieke onderwerpen voor de VMR niet voldoende voorhanden bleek te zijn, is er gekeken naar verwante soorten. Bijvoorbeeld Noord-Amerikaanse fint-achtigen (*Alosa spp.*) of andere salmoniden soorten.

Afbakening

De VMR richt zich op stroomopwaarts migrerende vissen (van zout naar zoet intrekende vis). Bij dit document is alleen gezocht naar kennis over gedrag, oriëntatie, acclimatisatie, timing etc. van de migratie van de doelsoorten tijdens de intrek. Dit betekent bijvoorbeeld dat er voor de Europese aal alleen gericht gezocht is naar informatie naar stroomopwaarts migrerende glasaal en dat de stroomafwaartse schieralen buiten beschouwing zijn gelaten. De stroomafwaartse uittrek van migrerende vissoorten via spuisluizen wordt bij de Afsluitdijk als nauwelijks beperkend beschouwd, hooguit treedt er lichte vertraging op (zie analoog hieraan voor Haringvliet; Winter & Bierman 2010).

Begeleiding en tussentijdse toetsing

Het bronnenonderzoek is begeleid door een begeleidingsgroep waarin Herman Wanningen, Hein Sas, Peter-Paul Schollemma, Jaap Quak, Wouter van de Heij en Roef Mulder zitting hadden. De aanpak, opbouw van het rapport en conceptversies zijn tussentijds besproken en becommentarieerd door deze begeleidingsgroep. Daarnaast zijn de tussentijdse resultaten van het bronnenonderzoek bediscussieerd in een expert-meeting gehouden op 29 november 2014 te Kornwerderzand. Hierbij waren Herman Wanningen, Jaap Quak, Peter Paul Schollemma, Wouter van der Heij, George Wintermans, Bauke de Witte, Guus Kruitwagen, Tim Vriese, André Breukelaar, Wilco de Bruijne, Jeroen van Herk en Roef Mulder aanwezig.



Figuur 2-7. Schematische weergave van de werkwijze van het bronnenonderzoek. Wanneer er van een item, onderwerp of doelvissoort onvoldoende lokale kennis in wetenschappelijke of grijze literatuur aanwezig was 'nee', is via verschillende sporen verder gezocht: via ruimtelijke opschaling (regionaal; internationaal), raadplegen van deskundigen en zoeken voor soorten die verwant zijn aan doelsoorten. Wanneer een stap met 'ja' beantwoord kon worden is niet verder gezocht.

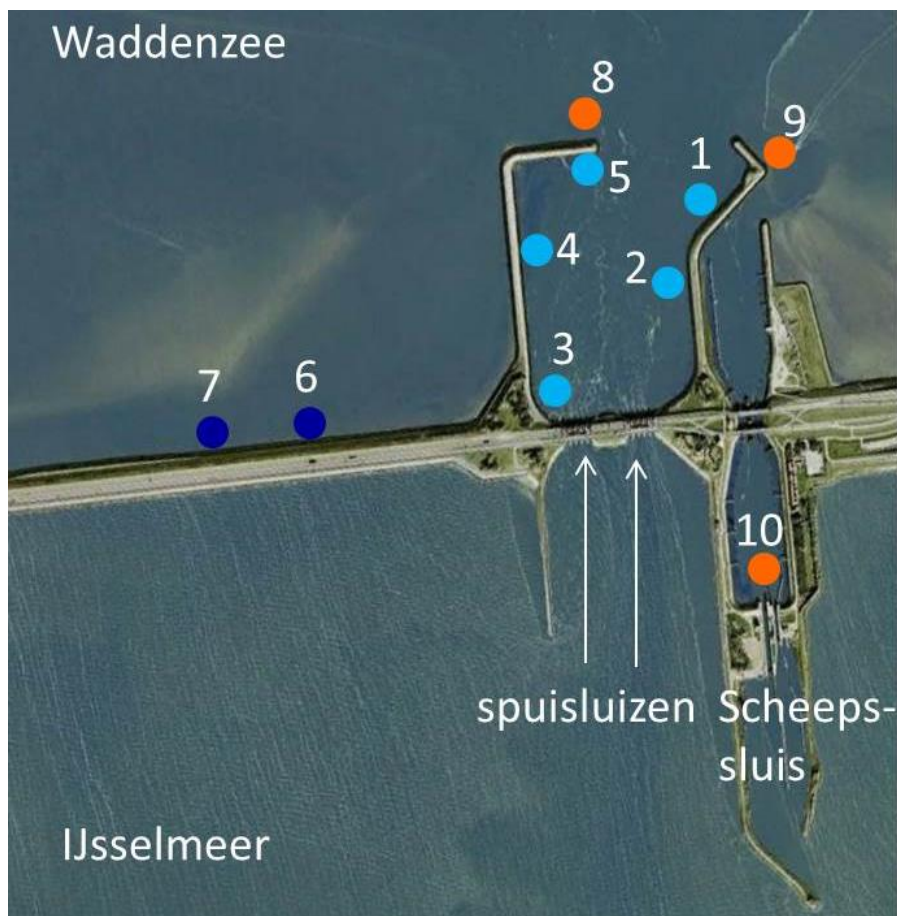
2.3 Geraadpleegde bronnen

2.3.1 Overzicht van onderzoeken bij spuisluisen Kornwerderzand

In en nabij de spuisluisen van Kornwerderzand worden of zijn in het verleden meerdere onderzoeken uitgevoerd. Al deze onderzoeken dragen bij op verschillende wijze aan de kennis van visvoorkomen bij Kornwerderzand.

Diadrome Vis bij Kornwerderzand

Dit onderzoeksprogramma is een fuikenonderzoek dat IMARES in samenwerking met de beroepsvissers van Malsen uitvoert voor het WOT-programma van Ministerie van Economische Zaken (EZ). Vanaf 2000 zijn jaarlijks, met uitzondering van 2004, op zeven fuiklocaties de vangsten geregistreerd gedurende drie maanden in het voorjaar (april-juni) en drie maanden in het najaar (september-november). Van de zeven fuiken staan vijf fuiken in de spuikom en twee langs de dijk aan de westzijde van de Afsluitdijk (Figuur 2-8). Het programma is specifiek gericht op diadrome vissoorten, maar alle soorten worden geregistreerd en de fuiken worden specifiek voor het onderzoek met ontheffing geplaatst. De fuiken worden minimaal tweemaal per week gelicht. De resultaten (aantallen, trends) zijn gerapporteerd in jaarrapportages (Tulp et al. 2011, Kuijs et al. 2012). Daarnaast is een analyse van de vangstaantallen in relatie tot de afstand tot de spuideuren uitgevoerd (Winter 2009). Analyse naar de relatie tussen spuigegevens en vangstaantallen zijn nog niet eerder uitgevoerd. In het najaar van 2013 is in het kader van de Vismigratierivier de monitoring uitgebreid met drie extra fuiken (twee buiten de spuikomen en één nabij de scheepvaartsluizen, Figuur 2-8).



Figuur 2-8. Locaties van de fuiken die sinds 2001 worden gemonitord door de WON1. Dit gebeurt in het voorjaar drie maanden en het najaar drie maanden. In 2013 zijn de fuiken acht, negen en tien ingezet ten behoeve van aanvullend onderzoek VMR om een beter inzicht te krijgen in de verspreiding van vis nabij de spuikom en de scheepvaartsluis. Dit wordt voortgezet in het voorjaar van 2014.

Zeldzame Vis Marker-/IJsselmeer

Dit is een fuikenprogramma dat IMARES in samenwerking met beroepsvissers uitvoert op het IJsselmeer en Markermeer. Hierbij wordt binnen de bestaande commerciële visserij gegevens van zeldzame (waaronder diadrome) vissoorten verzameld, waarbij enkele vissers hun totale fuikenbestand bekijken op zeldzame vis (hiermee wordt een grote vangstinspanning gemonitord). Dit programma wordt voor het Ministerie van EZ uitgevoerd sinds 1994, maar omdat grote veranderingen in de commerciële visserij hebben plaatsgevonden, is de opzet en totale inspanning die gemonitord is een aantal malen tussentijds gewijzigd (Tulp & van Willigen 2003; Kuijs et al. 2012). Voor de Vismigratierivier zijn de locaties aan de binnenzijde bij Kornwerderzand en langs de Afsluitdijk ten westen van Kornwerderzand het meest relevant.

Passieve MWTL-vismonitoring

Dit is een fuikenprogramma waarbij IMARES in samenwerking met beroepsvissers sinds 1993 in de Rijkswateren in Nederland het voorkomen van vis registreert (in principe vier fuiken per locatie). Dit programma werd eerst voor zowel Rijkswaterstaat (RWS) als Ministerie van LNV uitgevoerd, meer recentelijk in directe opdracht van RWS (Wiegerinck et al. 2011). Het programma omvatte 32 locaties, maar na de sluiting van gebieden door de dioxineproblematiek bestaat het huidige aantal bemonsterde locaties uit 13 gebieden. Twee locaties vallen in het IJsselmeer, waarvan één aan de binnenzijde bij Kornwerderzand. Door maatregelen binnen de palingvisserij is deze locatie sinds 2010 niet meer in het najaar bemonsterd.

Schieraal-index

In 2012 is een fuikenprogramma voor de uittrek van schieraal van start gegaan in opdracht van het Ministerie van EZ. Met deze monitoring wordt een jaarlijkse index gegeven voor de uittrek van schieraal op vijf locaties (Kornwerderzand, Den Oever, Noordzeekanaal, Nieuwe Waterweg, Haringvliet) en twee locaties waar schieraal Nederland binnenkomt (Maas en Rijn). In dit programma worden alen geteld en de lengte gemeten. Naast alen worden tevens van diadrome vissoorten de lengte gemeten en aantallen van andere vissoorten geregistreerd. Eind 2012 is deze monitoring tevens gebruikt om rivierprik te monitoren in de maand december op de locaties Haringvliet en Kornwerderzand.

Glasaal-index

Op een aantal locaties langs de Nederlandse kust wordt jaarlijks met een 1x1 m kruisnet glasaal bemonsterd gedurende april-mei. Twee locaties zijn relevant voor de Afsluitdijk: Den Oever en Harlingen. Bij Den Oever loopt deze serie sinds 1950, bij Harlingen sinds 2002 (de Graaf & Bierman, 2012).

Demersal Fish Survey (DFS)

Deze survey wordt vanaf 1970 jaarlijks in het najaar uitgevoerd met een onderzoeksschip en een boomkor in de Nederlandse kustgebieden, waaronder jaarlijks circa 120 trekken in de Waddenzee (Tulp et al. 2008). Deze survey geeft met name inzicht in het voorkomen van enkele iets talrijkere diadrome vissoorten in de Waddenzee: met name bot, fint, spiering, driedoornige stekelbaars en rivierprik.

RWS NEDAP-Trail zenderonderzoek

In de spuikokers bij Den Oever en Kornwerderzand liggen twee detectiestations. RIZA heeft in 1997-2000 in totaal 70 zeeforellen gezenderd aan de buitenzijde van de Afsluitdijk (61 bij Kornwerderzand en 9 bij Den Oever), waarvan circa de helft succesvol naar binnen trok. Daarnaast zijn door IMARES in samenwerking met RWS in 2005-2009 in totaal 195 houtingen van zenders voorzien in het IJsselmeer, waarvan maar een klein deel ook bij de Afsluitdijk is gezien. Een flink deel van de houting blijkt niet naar zee te trekken. Verder zijn hooguit enkele gezenderde schieralen uit het Rijnonderzoek via de IJssel en Afsluitdijk naar zee getrokken.

Gerichte RIVO glasaalonderzoeken

Het voormalige RIVO heeft in de jaren '50 en '90 gerichte onderzoeken gedaan naar de glasaal-trek richting het IJsselmeer. Dit heeft geresulteerd in diverse onderzoeksrapporten die erg relevant zijn voor de oriëntatie en het migratiegedrag van glasaal langs de Afsluitdijk (Deelder 1952, - 1958, Dekker & van Willigen 1997, - 1998, - 2000).

NIOZ fuik Texel

In het Marsdiep bij het Horntje op Texel wordt al gedurende ruim 40 jaar bijna dagelijks de vangsten van een fuik bijgehouden. Dit geeft inzicht in het voorkomen van vis in de Westelijke Waddenzee, waaronder diadrome vissoorten. Deze database is in beheer bij het NIOZ (Hans de Witte).

Gericht onderzoek naar visbewegingen in spuikokers

In 2008 en 2009 is door Witteveen & Bos onderzoek verricht naar de uittrek en de intrek van vis via het spuicomplex Kornwerderzand. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd met het oog op een mogelijk derde spuicomplex in de Afsluitdijk. Hierbij is ook gekeken naar de kans of met dit nieuwe aan te leggen spuicomplex de kans voor uitspoeling van commerciële vis verandert (Witteveen+Bos 2008, 2009a, 2009b).

2.3.2 Wetenschappelijke publicaties

De zoekmachines Web of Knowledge (<http://apps.webofknowledge.com>) en Scopus (<http://www.scopus.com>) zijn gebruikt om wetenschappelijke publicaties te zoeken. Beide databases hebben toegang tot wetenschappelijke literatuur en geven de mogelijkheid om gericht te zoeken via o.a. trefwoorden, maar bieden daarnaast ook de mogelijkheden om relatief snel gebruikte bronnen van een artikel te raadplegen ('achteruit zoeken') of artikelen die een artikel zelf als bron hebben gebruikt ('vooruit zoeken'). Deze vorm van iteratief zoeken met als startpunt zoeken op kernwoorden of review artikelen geeft een grote trefkans om de relevante artikelen die beschikbaar zijn in de wetenschappelijke literatuur op het spoor te komen. Daarnaast is in de database ASFA naar literatuur gezocht.

2.3.3 Grijze literatuur

De grijze literatuur is in vergelijking met de wetenschappelijke literatuur minder goed bereikbaar. Voor grijze literatuur zijn voornamelijk scholar.google.com, de website van de STOWA (www.stowa.nl) en de database van Wageningen UR geraadpleegd. Op basis van literatuurlijsten in rapporten en verslagen is verder gezocht naar bruikbare grijze literatuur. Ook is er gericht gevraagd naar grijze literatuur bij experts. Met name de gebruikte Duits-talige grijze literatuur is ons via experts aangereikt. Daarnaast zijn er steekproefsgewijs aanvullende zoekacties uitgevoerd in ASFA.

2.3.4 Ongepubliceerde kennis bij experts en ervaringsdeskundigen

Voor ongepubliceerde kennis zijn interviews gehouden met ervaringsdeskundigen en onderzoekers. Deze interviews hebben fysiek, telefonisch en per email plaatsgevonden (zie 2.2 voor overzicht van geraadpleegde ervaringsdeskundigen en experts). In een later stadium zijn nog gerichte aanvullende vragen gesteld aan deze ervaringsdeskundigen en experts specifiek gericht op de onderwerpen en items waar weinig kennis over gevonden was (de geïdentificeerde kennishiaten).

3 Migrerende vis: biologie per soort en clustering in groepen

In een natuurlijk estuarium, zoals de Zuiderzee voor de aanleg van de Afsluitdijk, kwamen diverse vissoorten voor die nu lokaal zijn verdwenen of sterk achteruit zijn gegaan. Vanuit de Kaderrichtlijn Water is een referentie toestand opgesteld voor de soortsaamenstelling van vis in een natuurlijk estuarium in Nederland (van der Molen 2004, Jager 2008). Hierbij zijn historische beschrijvingen van de Eems-Dollard en de Westerschelde gebruikt die afkomstig zijn uit een periode dat er al wel menselijke invloeden waren, maar soorten als de steur nog niet waren uitgestorven (van der Molen 2004). In de referentielijst voor de KRW worden 38 soorten beschreven onderverdeeld in vier groepen: diadroom (11 soorten), resident (12 soorten), marien juveniel (10 soorten) en marien seizoensgast (5 soorten) (Kranenbarg 2004). Van Beek (2000) gaat uit van het volledig spectrum aan vissoorten (62 soorten) relevant voor een zoet-zout overgang, ook bijvoorbeeld zoet watersoorten en mariene dwaalgasten neemt hij mee.

Tabel 1 Referentie van de soortsaamenstelling van vissoorten in een natuurlijk estuarium zoals deze is vastgesteld voor de Kaderrichtlijn Water (Jager 2008). De doelsoorten volgens (PNRW 2013) voor de Vismigratierivier zijn weergegeven met een grijze arcering.

diadroom	estuariaen resident	Mariaen juveniel	Mariaen seizoensgast
Steur – <i>Acipenser sturio</i> [†]	Harnasman – <i>Agonus cataphractus</i>	Haring – <i>Clupea harengus</i>	Geep – <i>Belone belone</i>
Elft – <i>Alosa alosa</i>	Zandspiering – <i>Ammodytes tobianus</i>	Zeebaars – <i>Dicentrarchus labrax</i>	Pijlstaartrog – <i>Dasyatis pastinaca</i>
Fint – <i>Alosa fallax</i>	Glasgrondel – <i>Aphia miuta</i>	Kabeljauw – <i>Gadus morhua</i>	Snotolf – <i>Cyclopterus lumpus</i>
Paling – <i>Anguilla anguilla</i>	Slakdolf – <i>Liparis liparis</i>	Schar – <i>Limanda limanda</i>	Ansjovis – <i>Engraulis encrasicolus</i>
Driedoornige stekelbaars – <i>Gasterosteus aculeatus</i>	Zeedonderpad – <i>Myoxocephalus scorpius</i>	Wijting – <i>Merlangius merlangus</i>	Sprot – <i>Sprattus sprattus</i>
Rivierprik – <i>Lampetra fluviatilis</i>	Botervis – <i>Pholis gunnellus</i>	Schol – <i>Pleuronectes platessa</i>	Diklipharder – <i>Chelon labrosus</i> [*]
Spiering – <i>Osmerus eperlanus</i>	Bot – <i>Platichthys flesus</i>	Tarbot – <i>Scophthalmus maximus</i>	
Zeeoprik – <i>Petromyzon marinus</i>	Brakwatergrondel – <i>Pomatoschistus microps</i>	Griet – <i>Scophthalmus rhombus</i>	
Zalm – <i>Salmo salar</i>	Dikkopje – <i>Pomatoschistus minutus</i>	Tong – <i>Solea solea</i>	
Zeeforel – <i>Salmo trutta</i>	Grote zeenaald – <i>Syngnathus acus</i>	Rode poot – <i>Trigla lucerna</i>	
Houting – <i>Coregonus oxyrinchus</i> [*]	Kleine zeenaald – <i>Syngnathus rostellatus</i>		
	Puitaal – <i>Zoarces viviparus</i>		

† De steur is in de jaren 50 van de vorige eeuw in Nederland uitgestorven. Hij kwam oorspronkelijk voor in het Rijn stroomgebied, was volgens van Bemmelen(1866) in historische tijden vrij algemeen in de Zuiderzee (in Quak et al. 2012) en wordt om die reden als doelsoort meegenomen in de onderliggende bronnenonderzoek.

*Houting is door Kranenbarg (2004) aangeduid als estuariaen residente soort. Jager & Kranenbarg (2008) duidt deze aan als diadrome soort.

• Diklipharder is niet meegenomen in de referentiestatus van de KRW voor estuaria.

Quak, van Emmerik & Verspui (2012) geven in het 'Kennisdokument Trekvisen Afsluitdijk' specifiek voor de Zuiderzee een overzicht van het historisch voorkomen van de verschillende vissoorten en uit welke bronnen deze waarnemingen afkomstig zijn. Mesohaliene soorten als bot, ansjovis, haring en grondels vormden de hoofdmoot in biomassa en commercieel belang. Daarnaast kwamen alle trekvissoorten in het gebied voor en werden vele zeevissoorten in het noordelijke deel van de Zuiderzee en zoetwater-vissoorten in het zuidelijke deel aangetroffen.

Om een indruk te krijgen van het huidige voorkomen van de referentie vissoorten zoals in Tabel 2 genoemd, is een overzicht gegevens van de vangsten van deze soorten in de fuiken binnen het programma Diadrome Vis in de buitengaatse spuikom bij Kornwerderzand (Tabel 3).

Tabel 3. Het voorkomen in de buitengaatse spuikom bij Kornwerderzand (fuikvangsten per jaar uit programma Diadrome Vis, zie 2.3.1, van de vissoorten zoals genoemd in de KRW-referentie soortenamenstelling van vissoorten in een natuurlijk estuarium (zie tabel 2), aangevuld met zoetwatervissoorten die vanuit het IJsselmeer zijn uitgespoeld.

soort	2001	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Diadroom (doelsoorten)											
Aal/paling	18,061	19,053	11,894	4,059	3,249	2,860	2,172	4,090	4,635	1,868	1,266
Bot	11,215	27,804	28,431	9,384	10,457	29,460	8,429	13,118	7,964	15,676	1,971
Driedoornige stekelbaars	4,133	5,184	3,536	119,989	485,952	114,760	100,462	1,085,111	1,026,154	416,242	545,520
Elft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fint	102	768	2,965	703	126,703	407	313	147	16	1,000	218
Houting	1	13	22	104	19	40	19	32	12	6	5
Rivierprik	1,300	221	583	179	10	21	45	37	122	11	104
Schar	1,046	20	95	9	10	7	11	42	2	8	7
Spiering	64,273	140,124	17,884	60,317	148,974	107,325	80,990	276,136	1,229,960	35,575	44,628
Steur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zalm	6	14	5	0	1	1	0	0	1	0	0
Zeeforel	24	45	12	18	19	16	23	4	2	0	2
Zeeprik	193	1	43	24	35	68	70	20	5	13	22
Estuarien resident											
Botervis	2,076	146	100	97	26	25	41	71	276	194	119
Dikkopje/Brakwatergrondel	3,107	2,471	927	17,644	10,003	13,332	429	1,881	18,183	1,659	777
Glasgrondel	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Grote Zeenaald	151	7	34	30	42	18	3	32	8	9	6
Harnasmannetje	33	2	2	0	0	1	1	3	1	9	1
Kleine zeenaald	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Puitaal	5,298	2,431	2,668	2,553	1,729	859	605	1,184	1,091	1,895	1,480
Slakdolf	443	11	3	13	45	0	62	32	24	16	12
Zandspiering	822	8	158	132	394	1,112	33	61	22	116	0
Zeedonderpad	1,774	339	451	207	111	73	343	433	691	401	223
Marinen juveniel											
Haring/Sprot	796,765	42,453	407,184	1,585,575	1,337,949	15,350,581	4,602,529	283,588	129,395	60,681	100,060
Kabeljauw	424	69	28	24	156	82	76	6	3	14	12
Griet	70	7	103	4	7	1	1	3	5	1	0
Rode poot	0	1	6	7	0	0	1	1	0	0	1
Schol	6,811	608	3,747	2,345	14,349	5,079	13,865	17,197	5,240	2,186	2,072
Tarbot	0	0	1	0	1	1	1	2	0	0	0
Tong	521	64	86	42	28	14	11	29	338	40	16
Wijting	961	461	258	170	29	1,769	248	139	67	38	108
Zeebaars	897	4,214	2,602	1,468	1,538	965	923	2,169	243	3,288	1,704
Marinen seizoensgast											
Ansjovis	0	81	57	16	18	156	10	4	0	16	0
Diklipharder	623	191	223	30	25	485	189	188	45	13	29
Geep	230	9	19	21	8	4	7	9	3	15	4
Sprot/Haring	796,765	42,453	407,184	1,585,575	1,337,949	15,350,581	4,602,529	283,588	129,395	60,681	100,060
Pijlstaartrog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Snotolf	24	7	1	1	0	1	1	0	1	1	1
Zoetwater (uitgespoeld)											
Alver	0	0	1	0	83	46	121	13	767	65	61
Baars	321,975	98,491	57,642	145,603	86,862	141,309	54,765	24,974	84,376	6,072	7,397
Blankvoorn	5,803	6,880	11,767	13,558	51,886	10,685	42,895	5,764	36,208	5,087	9,334
Brasem	583	3,496	2,025	374	791	395	1,291	259	39,002	935	2,083
Karper	0	1	7	0	9	3	139	6	202	1	6
Pos	126,965	47,005	71,196	155,222	589,343	867,082	447,755	136,169	1,945,975	38,390	176,031
Rivierdonderpad	0	1	21	4	11	19	28	17	19	40	43
Snoekbaars	24,459	1,979	707	1,538	140,543	3,038	2,518	1,517	164,245	1,359	11,796
Winde	0	0	0	0	4,016	1,140	527	400	3,681	271	352

Bijna het volledige soortenspectrum dat past binnen de KRW referentiesoorten wordt aangetroffen aan de buitenzijde van Kornwerderzand. Van de diadrome doelsoorten zijn alleen Atlantische steur en Elft niet aangetroffen (beide als paaipopulaties uitgestorven in Nederlandse rivieren). Voor een aantal soorten worden grote aantallen aangetroffen tot meer dan een miljoen gevangen individuen voor driedoornige stekelbaars in 2009 en 2010 en spiering in 2010. Hierbij moet worden opgemerkt dat de fuikvangsten hooguit een deel van het aanbod aan de buitenzijde betreft. De werkelijke aantallen zullen groter zijn, afhankelijk van de vangstefficiëntie van de fuiken die sterk uiteen kan lopen voor de verschillende vissoorten en levensstadia. Bijvoorbeeld voor glasaal en botlarven zijn de mazen van de fuik te grof en deze zijn derhalve niet vertegenwoordigd in de vangsten. Ook het gedrag in en rond de spuikom kan de vangsten sterk beïnvloeden. Vissoorten die veel zoekgedrag langs de oevers van de spuikom vertonen en een lange verblijftijd hebben rondom de spuilocatie zullen een veel hogere vangkans hebben dan vissoorten die bij de oevers wegblijven, weinig activiteit vertonen of maar voor kort in en rond de spuikom aanwezig zijn.

Ook voor ander vissoorten bestaan grote verschillen in vangstefficiëntie van de fuiken. Hierdoor kunnen de aantallen van het werkelijke aanbod aanmerkelijk hoger liggen dan zoals zijn gevangen (Tabel 3). Van de mariene soorten ('marien juveniel' en 'marien seizoensgast') zijn haring/sprot (die niet tot op soort worden gedetermineerd binnen het monitoringsprogramma) met aantallen van 100.000en tot miljoenen per jaar ook erg talrijk in en rond de spuikom. De vangstaantallen van de estuarien residente soorten ligt beduidend lager dan voor de andere groepen (tabel 3), wat op zich niet verwonderlijk is aangezien een goed functionerend estuarium ontbreekt in het westelijke Waddenzeegebied. De meest talrijke waren dikkopje/brakwatergrondel (die niet tot op soort worden gedetermineerd in dit monitoringsprogramma) en puitaal.

Naast diadrome, estuariene en mariene vissoorten worden ook grote aantallen zoetwatervissoorten gevangen, met name pos (met bijna 2 miljoen gevangen individuen in 2010), baars, snoekbaars, blankvoorn en brasem. Van de als diadrome vissoort aangeduid spiering zal tenminste een deel van de gevangen individuen ook om uitgespoelde 'zoetwaterspieling' gaan. Voor de uitgesproken zoetwatervissoorten die niet weten terug te keren, en dit zal voor de veelal kleine vis zeer waarschijnlijk het geval zijn, zal het lot van uitspoeling sterfte zijn. Of de uitgespoelde 'zoetwaterspieling' die niet weet terug te keren naar het IJsselmeer verder opgroeit op de Waddenzee is niet goed bekend (Tulp et al. 2013).

3.1 Overzicht van biologie en migratiegedrag van Nederlandse trekvis

In deze paragraaf worden alle van oudsher in Nederland voorkomende vissoorten beschreven die tussen zoet en zout water migreren om hun levenscyclus te kunnen voltooien. Deze groep vissoorten wordt ook wel aangeduid als diadrome of (rivier-)trekvissoorten. Omdat deze soorten sterk afhankelijk zijn van de kwaliteit van zeer uiteenlopende habitats (variërend van open oceaan tot kleine beekjes) en goede verbindingen tussen deze habitats nodig hebben, wekt het geen verbazing dat de ingrijpende veranderingen en intensief menselijk gebruik in de Nederlandse estuaria en rivierstroomgebieden heeft geleid tot een sterke achteruitgang of zelf verdwijnen van veel van deze vissoorten. In Tabel 4 wordt de wettelijke status en mate van bescherming van deze soorten aangegeven. Voor beschrijving van de biologie is naast wetenschappelijke literatuur gebruik gemaakt van "De Zoetwatervissen van Nederland" (Van Emmerik & de Nie, 2006), kennisdocumenten (de Laak 2007a, - 2007b, - 2009a, - 2009b, Kroon 2009, van Emmerik 2004) en rapporten van IMARES en onderzoeksbureaus.

Tabel 4. Beschermingsstatus van de doelsoorten binnen Nederlandse wetgeving.

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Visserijwet: gesloten periode	FF-wet	Habitat-richtlijn	Rode lijst
Atlantische steur	<i>Acipenser sturio</i>	-	X	II/IV	X
Atlantische zalm	<i>Salmo salar</i>	Gehele jaar	-	II/V	
Bot	<i>Platichthys flesus</i>	Nee	-		
Driedoornige stekelbaars	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Nee	-		
Elft	<i>Alosa alosa</i>	Gehele jaar	-	II/V	
Europese aal (of paling)	<i>Anguilla anguilla</i>	sep-nov* ¹	X* ¹		
Fint	<i>Alosa fallax</i>	Gehele jaar	-	II/V	X
Houting	<i>Coregonus oxyrinchus</i>	-	X	II/IV	
Rivierprik	<i>Lampetra fluviatilis</i>	nov-april	-	II/V	
Spiering	<i>Osmerus eperlanus</i>	visstand afhankelijk	-		
Zeeforel (forel)* ³	<i>Salmo trutta</i>	Gehele jaar	-		
Zeeprik	<i>Petromyzon marinus</i>	Gehele jaar	-	II	

*¹ Aal valt onder de bescherming van de Flora- en Faunawet, tenzij aal verkregen is in overeenstemming met de Visserijwet 1963 of legaal is ingevoerd of verkregen.

*² De visserij op spiering wordt gesloten voor beroepsvisserij indien het spieringbestand beneden een bepaalde grens komt.

*³ De officiële soortnaam is forel, waarbij zeeforel de trekkende individuen binnen forelpopulaties zijn en beekforel de niet-trekkende (residente) individuen.

Leeswijzer bij de soortbeschrijvingen in de paragrafen 3.1.1 t/m 3.1.12

Bij de soortbeschrijving per vissoort in de volgende paragrafen worden de volgende eigenschappen beschreven, waarbij de mate van detail afhangt van de hoeveelheid gevonden informatie en de relevantie voor beschrijving van het gedrag van vis bij zoet-zout overgangen:

Ecologische schets van de soort

Een kort overzicht van de biologie, levenscyclus van de soort en het belang van migratie voor de soort.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

De status van de populatie en dat gerelateerd aan de komst van de Afsluitdijk. Hierbij worden per soort ook een schematisch kaartje gegeven met het historisch voorkomen van de soort voor de Afsluitdijk en de huidige situatie. Hierin wordt onderscheid gemaakt in het functioneren van deelsystemen als foerageergebied (voor sub-adulte en adulte stadia), opgroeigebied (voor larvale en juveniele stadia) of paaigebied. Daarnaast worden locaties van herintroductie of uitzet-programma's aangegeven. De schematische kaartjes geven grof de deelgebieden aan waar de soorten voorkomen en welke functies deze gebieden voor de soort vervullen. De pijlen in de kaartjes geven de stroomopwaartse migratie weer, waarbij rode pijlen paaimigratie van volwassen vis weergeeft en oranje pijlen migraties naar foerageergebieden voor volwassen vis of opgroeigebieden van juveniele vis. De afbeeldingen van de verschillende vissoorten zijn van Sportvisserij Nederland en met toestemming gebruikt.

Timing van migratie

De timing van de migratie wordt opgedeeld in periode van het jaar en in dag/nacht migratie. De periode van uitrek is buiten beschouwing gelaten. Bij de weergave van de per soort gepresenteerde 'intrek-kalender' is onderscheid gemaakt in de belangrijkste intrekperiode (donkerblauw) en intrekperiode van minder belang (lichtblauw).

Migratiegedrag en oriëntatie

Relevante eigenschappen van gedrag tijdens de migratie. Wat zijn kenmerkende eigenschappen van de soort? Hoe oriënteren de vissen zich op grote en lokale schaal?

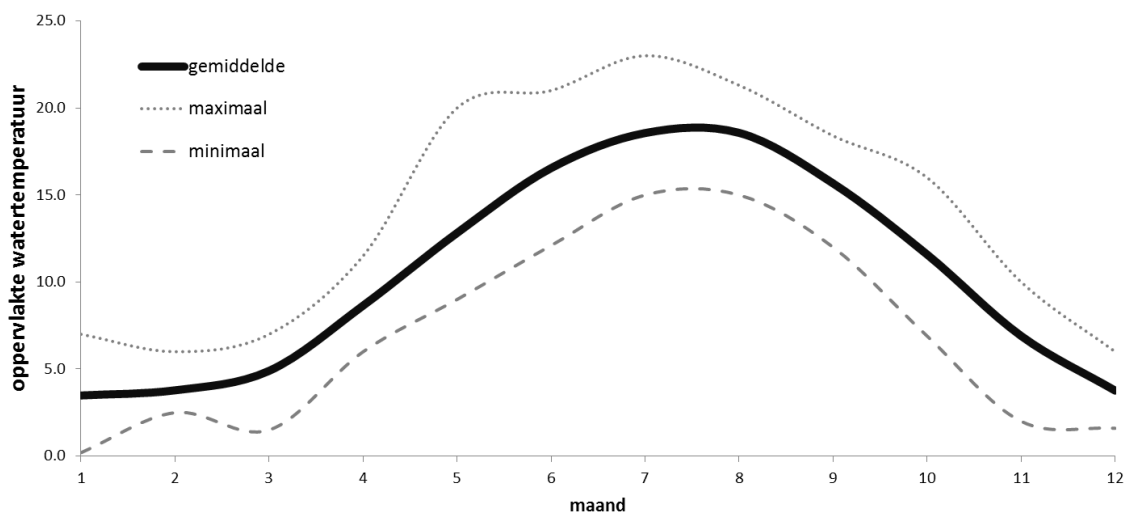
Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

De minimale, maximale en gemiddelde sprintcapaciteit is bepaald met het programma 'sprintfish' ontwikkeld door Winter & Visser (2007). Hierbij is op basis van een review van sprintcapaciteit en generieke formules een model opgesteld zoals beschreven in Winter & van Densen (2001). Sprintcapaciteit is sterk afhankelijk van lichaamslengte en watertemperatuur. Een sprintcapaciteit kan worden volgehouden tussen 5 en 15 seconden. In werkelijkheid kunnen turbulentie, fysieke conditie van de vis, een tegenstroom en andere factoren invloed hebben op deze sprintcapaciteit. De minimale, maximale en gemiddelde oppervlakte watertemperatuur is via beschikbare gegevens uit waterbase over de jaren 1973 – 1992 bepaald (Figuur 3-1). Indien bekend zijn er ook gemeten zwemcapaciteiten beschreven. Naast sprint capaciteit is de snelheid die langere tijd kan worden volgehouden ('prolonged' snelzwemmen of 'sustained' kruissnelheid) van belang voor het passeren van langere afstanden met hogere stroomsnelheden, zoals bijvoorbeeld in de spuikoker of de koker in de VMR. Een vaak gebruikte snelheid die langer volgehouden kan worden is de U_{crit} , de maximale kruissnelheid die kan worden volgehouden op aeroob energieverbruik.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

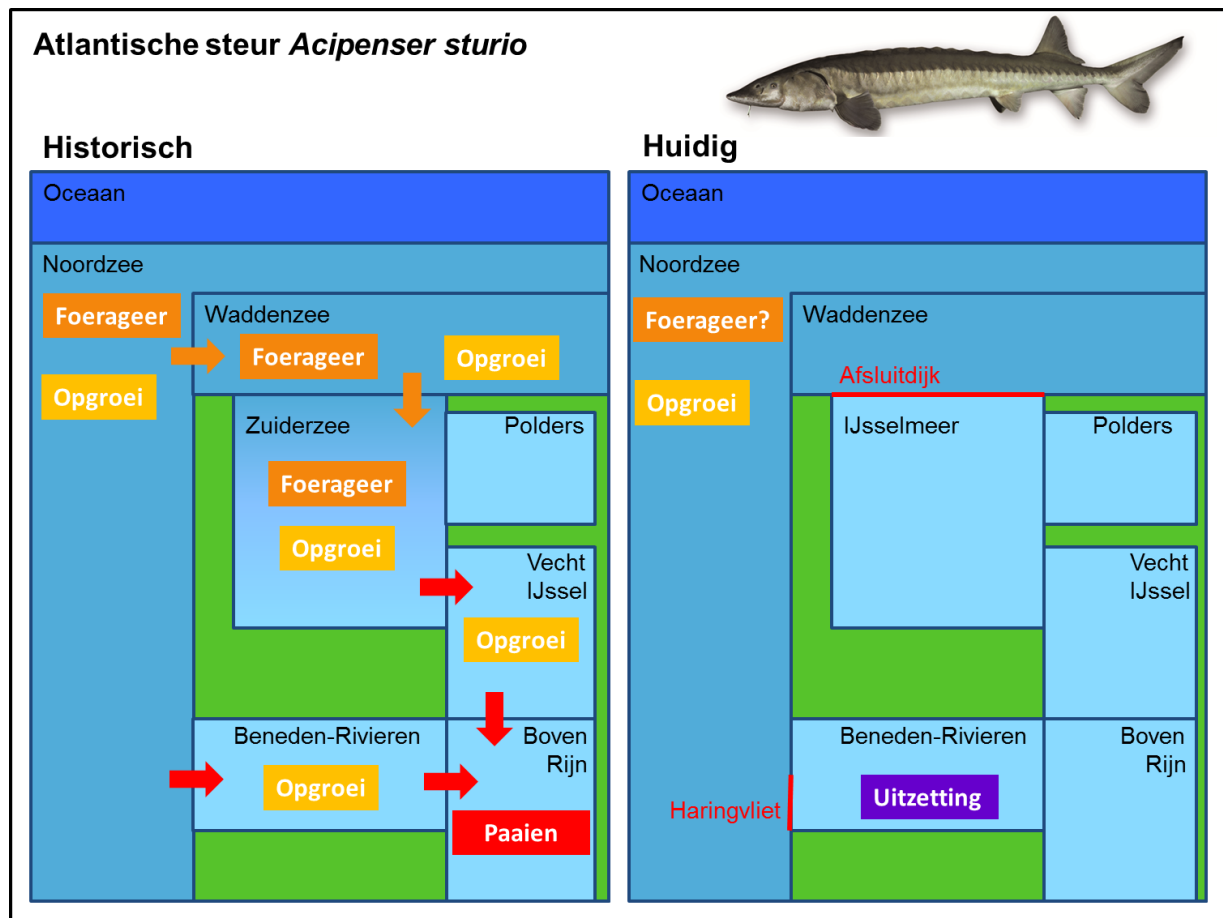
Diadrome vissoorten hebben in het algemeen een groot vermogen zich aan te passen aan de overgang van zoet naar zout water en andersom. Echter hoe belangrijk een bepaald habitat is in dit gewinningsproces of de hoeveelheid tijd die hiervoor nodig is, is van belang voor de VMR en wordt beschreven.

De soorten zijn gepresenteerd op alfabetische volgorde van hun officiële Nederlandse naam.



Figuur 3-1. Geregistreeerde oppervlakte watertemperatuur bij Kornwerderzand over de jaren 1973 – 1992 (gegevens verkregen uit waterbase).

3.1.1 Atlantische steur - *Acipenser sturio*



Timing van intrek

				winter		lente		zomer		herfst					
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Atlantische steur	<i>Acipenser sturio</i>	Anadroom	(sub)adult												

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, en de timing van de intrekperiode (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

De Atlantische steur is een anadrome vissoort. Volwassen steuren leven op zee en trekken in de zomer grote rivieren op om zich voort te planten. Steuren zijn relatief laat in hun leven geslachtsrijp (12-15 jaar) (Williot et al. 2011). Subadulten (2-10 jaar) trekken jaarlijks naar en van het estuarium tussen april en september (Williot 1997, Houben et al. 2012). De jongen leven de eerste twee jaren in de rivier (0-2 jaar) en migreren als subadult (2 – 10 jaar) jaarlijks tussen het estuarium en open zee. De mannetjes zijn geslachtsrijp na circa 12 jaar, de vrouwtjes na circa 15 jaar (Williot et al. 1997).

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

De steur is sinds het midden van de jaren '50 van de vorige eeuw in Nederland uitgestorven (De Groot 2002). Van Bemmelen (1866) geeft aan dat de steur in historische tijden relatief vaak in de Zuiderzee voorkwam. Tegenwoordige vangsten van steur in Nederland betreffen vrijwel zonder uitzondering exotische steursoorten die waarschijnlijk vanuit de vijverhandel afkomstig zijn. In Europa is nog maar één restpopulatie over: de Gironde-populatie (Houben et al. 2012). De steur plant zich waarschijnlijk alleen nog voor in het Gironde-Garonne-Dordogne stroomgebied in Frankrijk.

In 2012 zijn 43 jonge steuren, afkomstig uit de kweek, uitgezet op de Waal als onderdeel van een pilot-studie door Stichting ARK, het Wereldnatuurfonds en Sportvisserij Nederland (Brevé et al. 2013). Een groot deel van deze dieren werd op een later moment gedetecteerd in het havengebied van Rotterdam, waar volgens de auteurs de vissen zich wellicht aanpasten aan het hogere saliniteitsgehalte. In totaal is van 19 vissen bekend dat deze de Noordzee ingezwommen zijn, waarvan zes vissen binnen aanzienlijke tijd terug gevangen werden door vissersschepen (5 binnen een maand). Twee van deze vissen werden terug gevangen in de Waddenzee bij Den Oever. Dit suggereert grote visserijdruk op juveniele steuren.

De steur kwam van oorsprong voor op de Rijn. Verschillende anekdotische bronnen melden dat er een steurvisserij voor kwam op de IJssel, de IJsseldelta en de Zuiderzee (Houben et al. 2012). De Zuiderzee vormde mogelijk een foerageergebied dat door de komst van de Afsluitdijk is verdwenen. De migratie via de route IJssel naar de Rijn is met de komst van de Afsluitdijk belemmerd. Optrek naar de eventuele paaigronden bovenstrooms in de Rijn is in het huidige water systeem ook mogelijk via de vrij optrekbare Nieuwe Waterweg en via de spuisluizen in de Haringvlietdam die een belemmering voor de migratie vormen. Voor jonge steuren die tot twee jaar in het estuarium leven en jaarlijks tussen open zee en het estuarium trekken is een grote zoet-zout gradiënt essentieel in de levenscyclus van de soort. Deze estuariene gebieden zijn door de bouw van de Afsluitdijk verdwenen en beperkt tot het beneden rivierengebied, waar deze toen ook al sterk in areaal achteruit was gegaan (de Groot 2002).

Timing van migratie

De paai op de Rijn van de steur vond plaats tussen mei en augustus en volwassen dieren trokken vrij snel na de paai weer terug richting zee (de Groot 2002). In de Gironde vindt er een jaarlijkse migratie plaats tussen april en september, dit is een combinatie van subadulten die het estuarium intrekken en volwassen beesten die dieper de rivier opzwemmen (Williot et al. 2011).

Migratiegedrag en oriëntatie

Steuren kunnen enige maanden in een getijdegebied verblijven (Williot et al. 1997, - 2011). Alleen de paairijpe dieren trekken verder de rivieren op naar de paaigronden. Observaties van technische werknemers van een waterkrachtcentrale in Roemenië gaven aan dat grote volwassen steuren van meer dan 10 individuen zich kunnen 'concentreren' voor een barrière op locaties waar de afvoer van bijvoorbeeld turbines is gelokaliseerd (pers. comm. Radu Sucio). Steuren migreren zowel overdag als in de nacht, waarbij ze overdag in Roemenië op een meter of 6 – 16 diepte zitten waar geen of nauwelijks licht aanwezig is (pers. comm. Radu Sucio).

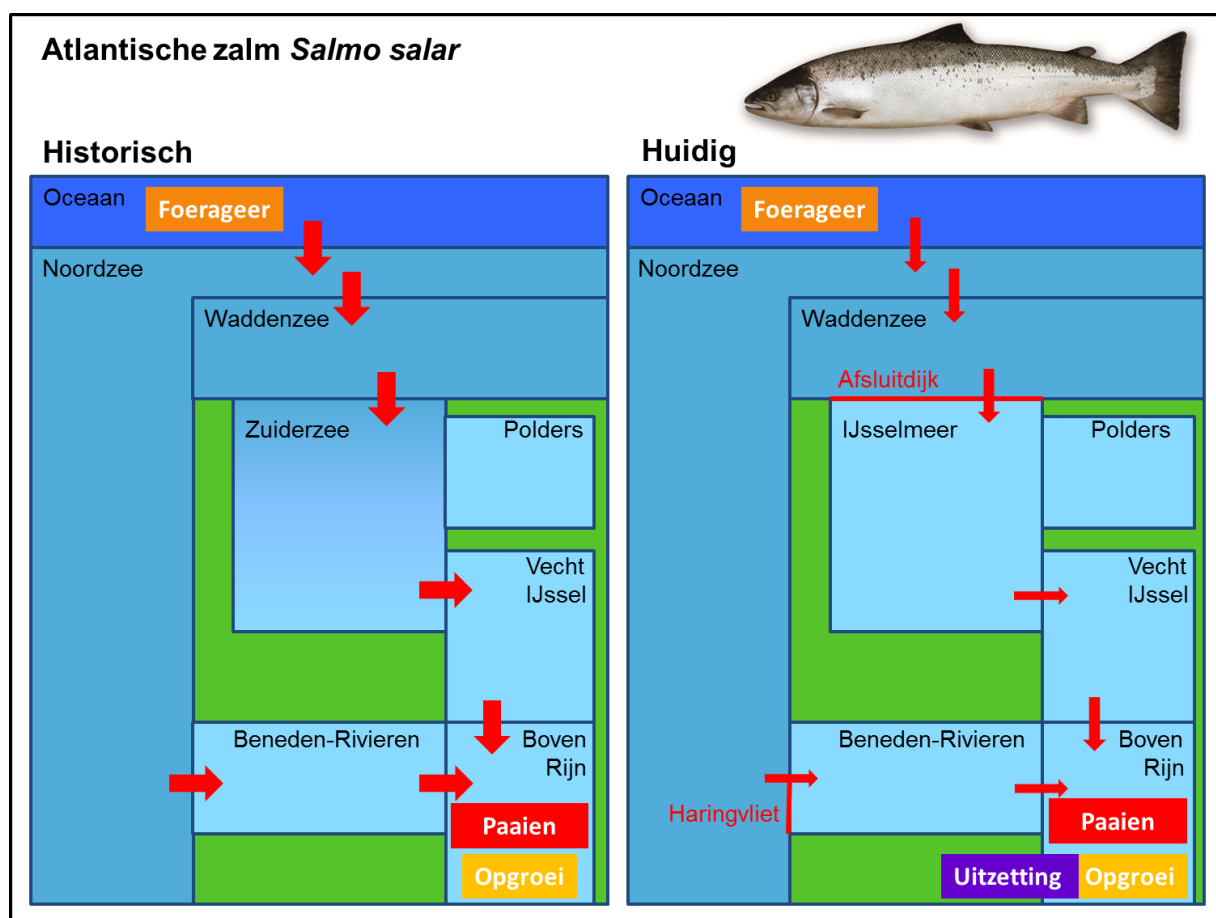
Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Sprintfish is niet geschikt om de sprintcapaciteit van grote vissen te bepalen en is daarom ook niet geschikt voor steur. Andere steursoorten in Roemenië halen snelheden van tenminste 2 m/s (pers. comm. Radu Sucio). Qu et al. (2013) komen voor twee steursoorten op U_{crit} van 1.2-1.4 lichaamslengtes/s voor *A. sinensis* en 1.6-1.9 lichaamslengtes/s voor *A. baerii*.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Over acclimatisatie tijdens intrek van steur is geen literatuur gevonden. Steuren gebruiken een zoet-zout overgang als opgroei en leefgebied met name in het juveniele en subadulte stadium (Williot et al. 1997). Brevé et al. (2013) koppelt het verblijf van de steur in het estuarium aan acclimatisatie van, in dit geval, uittrekkende steur. Uit de Zwarte Zee zijn 15 steuren gezenderd (*A. gueldenstaedti* en *Huso huso*) en 300 km stroomopwaarts van de zee in de rivier de Danube vrijgelaten. Deze individuen trokken snel en waarschijnlijk zonder vertraging richting de zee. De noodzaak voor een acclimatisatie zone van stroomafwaarts migrerende steur lijkt hierdoor beperkt. Kanttekening hierbij is dat de Zwarte Zee minder zout is dan de Noordzee en dat het andere soorten betreft dan *Acipenser sturio* (Ongepubliceerde resultaten Radu Sucio). Twee Noord-Amerikaanse studies naar *A. medirostris* (Allen et al. 2011) en *A. oxyrinchus* (Altinok et al. 1998) geven aan dat juveniele steuren uit zoetwater bij geforceerde blootstelling aan scherpe zoutgradiënten, zich beter en sneller aanpasten naarmate ze ouder werden.

3.1.2 Atlantische zalm - *Salmo salar*



Timing van intrek

				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Atlantische zalm	<i>Salmo salar</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
atlantische zalm	<i>Salmo salar</i>	6-11	0.7	25	9	15	2	23	14.6	60	100	80	2.1	8.6	5.1

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

De levenscyclus van de anadrome zalm begint bovenstrooms in de bovenlopen van rivieren, waar de eieren in snelstromende grindrivieren en -beken worden afgezet. Na een opgroeifase van veelal één tot drie jaar trekken jonge zalm (lengte dan gemiddeld 15-20 cm, zogenaamde 'smolts') naar zee. Ze leven één tot enkele jaren op de Atlantische Oceaan. De volwassen zalm trekken naar hun geboorterivier terug en migreren in de zomer en het najaar om in de winter te kunnen paaieren.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

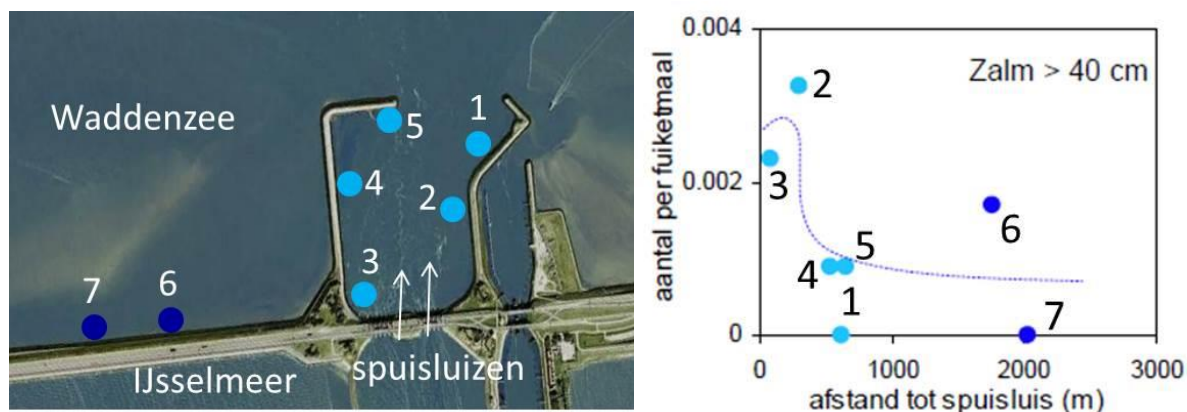
De grote zalmpopulatie die voorheen in het Rijnstroomgebied paaide is in de eerste helft van de twintigste eeuw uitgestorven, vermoedelijk door een combinatie van overbevissing, slechte

waterkwaliteit, verlies van paai- en opgroeihabitat door bijvoorbeeld grindwinning of een verhoogd slibgehalte en barrières op de trekroutes (de Groot 2002, Schneider 2009).

In de jaren negentig is een herintroductieprogramma gestart, waarbij grote aantallen jonge zalm zijn uitgezet in Duitse en Franse zijrivieren. Na een duidelijke toename in de aantallen volwassen zalmen die de Rijn optrekken zijn de aantallen nu wat gestabiliseerd (Wiegerinck et al. 2011). Er is momenteel nog geen sprake van een zichzelf in stand houdende populatie (Schneider 2009, Jansen et al. 2008). De huidige bovenstroomse Rijn-populatie kent nog een te gering terugkeerpercentage van de wegtrekkende smolts, waardoor de instandhouding van de populatie momenteel nog afhankelijk is van uitzet van jonge zalm in de bovenstroomse delen van de Rijn.

Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor zalm is groot. Zalm plant zich voor in de bovenstroomse gedeelten van het Rijngebied en het van belang dat zee de rivier op kunnen trekken tot de paaigronden. Om de bovenstroomse Rijn te bereiken kunnen drie intrekroutes worden genomen: via de Afsluitdijk en de IJssel, via het Haringvliet of via de Nieuwe waterweg. De laatstgenoemde is momenteel de enige vrij optrekbare route naar het bovenstroomse deel van de Rijn.

De vangstaantallen gedurende de periode 2001-2010 bij Kornwerderzand voor zalm liepen uiteen van nul in de jaren 2008 en 2009 tot 14 individuen in 2002 (Kuijs et al 2012). In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES zijn de vangsten voor zalm te laag om te kunnen onderscheiden of er locaties zijn die hoog zijn voor zalm (Figuur 3-1). Van de vangsten geven de fuiken 2 en 3 de hoogste vangsten. De gebroeders van Malsen geven echter aan dat de locatie met fuik nummer 8 (Figuur 3-1) de beste locatie is om salmoniden te vangen. Telemetrische gegevens van zeeforellen die het IJsselmeer passeren worden vrijwel niet in aalfuiken gevangen ondanks de grote hoeveelheid die er staan (bij de Vaate et al. 2003). Ook in de passieve monitoring worden weinig volwassen zalmen en zeeforellen in de grote rivieren gevangen, terwijl er in de zalmsteken wel substantiële aantallen worden gevangen (Wiegerinck et al. 2011). Deze resultaten suggereren dat de zalm wellicht in beduidend hogere aantallen voorkomt dan de fuikvangsten (aalfuiken) in en rond de spuikom van Kornwerderzand laten zien.



Figuur 3-1. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

Zalm trekt in het voorjaar, de zomer en het najaar het zoete water op. De telemetrische gegevens met NEDAP laten zien dat er voornamelijk intrek plaats vindt in de periode juni-nov (Breukelaar ongepubliceerde data, Jurjens 2006). Historische gegevens van de zalmaanvoer bij Kralingse Veer (1870-1930) en de zalmaanvoer volgens de Jaarcijfers van de visserij (1921-1939) laten zien dat de timing van intrek toen verschilde van de huidige: in estuaria en benedenrivieren met name in juni-augustus, in voorjaar een toenemende intrek en zeer lage aantallen in oktober-december (Quak et al. 2012). Voor het bovenstaande schematische overzicht is de timing van intrek in de huidige situatie genomen.

Zalmen migreren voornamelijk overdag (e.g. Kennedy et al. 2013). Sommige studies geven aan dat zalmen met name in de nacht migreren, behalve ten tijde van grotere vloed periodes (Potter 1988). Een studie in Amerika met andere soorten zalmen laat zien dat zalm zowel overdag als 's nachts migreert, maar dat zij voornamelijk bij hydraulisch complexere situaties en waar hogere predatierisico aanwezig zijn, overdag migreren omdat zij dan de omstandigheden met meerderde zintuigen kunnen waarnemen, waarbij oriëntatie op zicht zeker belangrijk lijkt (Keefer et al. 2013).

Migratiegedrag en oriëntatie

De meningen lopen uiteen hoe zalmen zich op grotere schaal kunnen oriënteren en Hansen et al (1993) suggereert dan ook dat het zeer waarschijnlijk is dat er meerdere prikkels en of oriëntatie mechanismen gebruikt worden om de weg terug te vinden naar de geboorterivier (*natal homing*). Deze verschillende oriëntatie prikkels zijn: aardmagnetisme, geurstoffen uitgescheiden door zalm smolts (jonge zalm), gebied specifieke geurstoffen waaronder humuszuren en waterstromingsrichting (samengevat in Hansen et al. 1993). Feit is dat zalmen op grotere schaal heel gericht op een estuarium afzwemmen (Potter 1988). Eenmaal in een estuarium bewegen zij voor een groot deel met het getij mee, soms over de bodem tegen de stroom in of ze houden hun positie gedurende eb (Stasko 1975, Potter 1988). Maar er is grote individuele variatie in het gedrag van zalm, gestuurd door lokale omstandigheden (Potter 1988, Russell et al. 1998). Net buiten het estuarium lijken zij juist onafhankelijk van het getij te migreren (Potter 1985). Zalmen kunnen grote vertraging oplopen bij structuren als dammen en andere barrières (Russell et al. 1998). Sommige zalmen bleven hierbij dicht bij de barrière, wachtend op de juist omstandigheden om verder te trekken. Ook hier is individueel gedrag sterk afhankelijk van de timing en de afvoer van de rivier. Een deel van deze wachtende zalmen leek zich wel aangetrokken te voelen door een zoete lokstroom uit de vispassage, maar er was uiteindelijk maar een klein percentage dat gebruik maakte van de relatief kleine passage (Russell et al. 1998). Dit oponthoud leidt uiteindelijk tot vertraging van de migratie. Zalmen trekken over een langere periode het zoete water op, deze periode loopt voornamelijk van juni tot en met november. De paai vindt plaats in een paaibed van kiezel. Na de paai sterven de meeste volwassen vissen. Historisch keerden van het Rijn bestand ca. 10 % terug naar zee (zogenaamde 'kelts') om vervolgens voor een tweede keer te paaien (Schneider 2009).

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

In telemetrische experimenten zijn snelheden waargenomen van 0.20 – 0.40 m/s in de middelste stukken van het estuarium (Potter 1988). Verderop stroomopwaarts vlak voor het binnendringen van het zoete water zijn snelheden van 0.35 – 1.10 m/s waargenomen (Potter 1988). De sprintcapaciteit van zalmen (48.3 – 54.8 cm lang, bij een temperatuur van $10 \pm 1,6$ graden) die is waargenomen bij experimenten ligt rond de 1.6 – 3.6 m/s (Colavecchia et al. 1998). Recente studies wijzen zelfs op maximale sprintsnelheden tot 10 m/s (Castro-Santos 2013), wat goed overeenkomt met de maximale schatting met Sprintfish. De maximale kruissnelheid U_{crit} voor volwassen zalm wordt ingeschat op 0.6-0.9 m/s (gebaseerd op Peake 2008, in Quak et al. 2012).

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

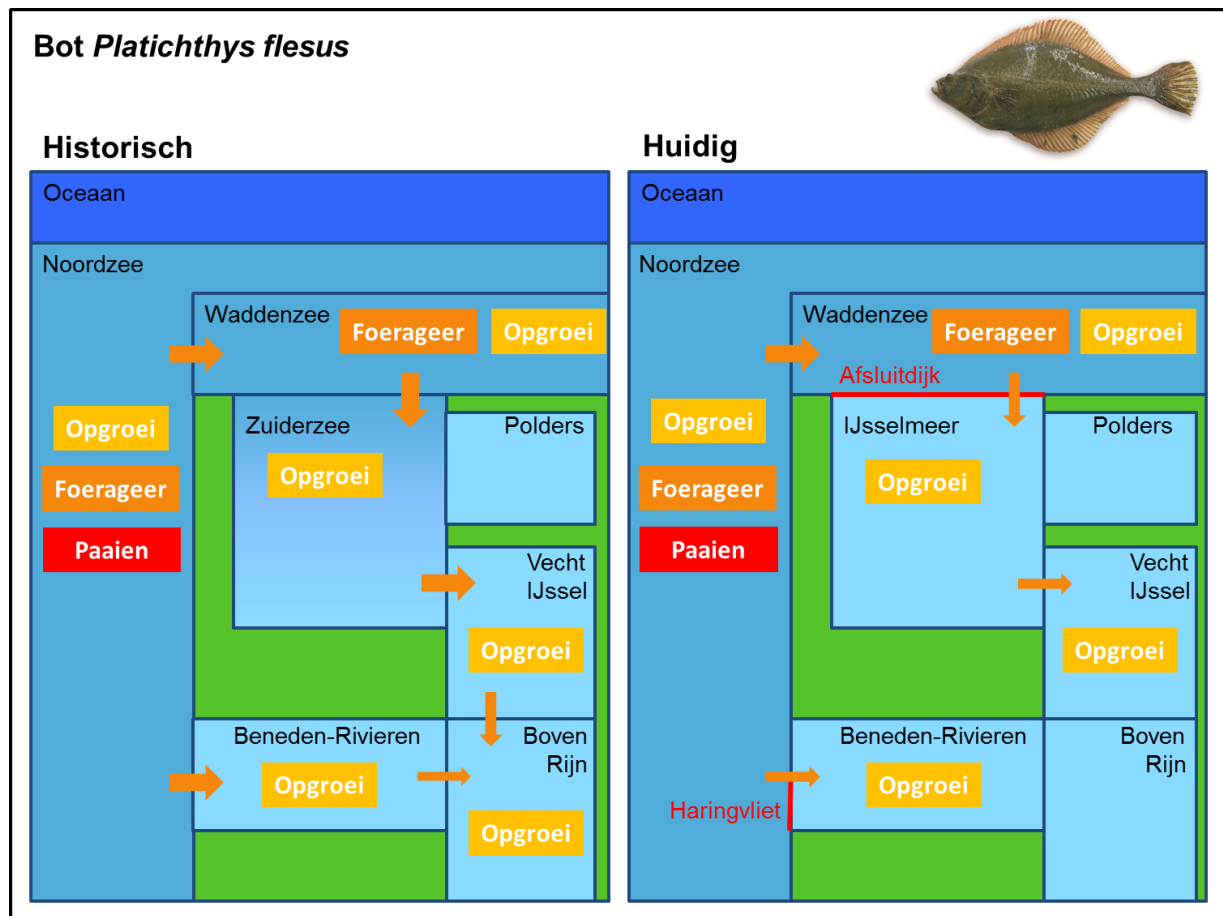
De migratie tussen zoet en zout water verliep in een telemetrische studie in Zuidwest-Engeland zeer snel en de auteurs wijzen erop dat er geen direct bewijs is dat acclimatisatie in een zoet zou overgang van heel groot belang is (Potter 1988). Het voorkomen van zalmpopulaties in kleine rivieren die geen estuarium hebben bevestigd dat zij in staat zouden moeten zijn om een 'harde overgang' tussen zoet-zout te kunnen passeren. In een andere studie worden de bewegingen van zalmen met het getij gekoppeld aan een vorm van acclimatisatie voor zalm (Stasko 1975). Sommige zalmen remmen hun migratiesnelheid in estuaria af (Davidsen et al. 2013), wat vaak wordt gelinkt aan het wennen aan het zoete water, maar direct bewijs hiervoor ontbreekt vooralsnog en dit kan ook te maken hebben met oriëntatie of het efficiënt gebruik maken van een getijdencyclus (Davidsen et al. 2013). Het feit dat zalmen snel migreren tussen zoet-zout overgangen duidt erop dat acclimatisatie in deze overgangsgebieden beperkt van belang lijkt te zijn of dat zij zich al eerder hormonaal voorbereiden op

een snelle overgang tussen zoet en zout. Over de noodzaak en duur van acclimatisatie van intrek van volwassen zalm is vrijwel geen literatuur gevonden. De meeste studies die op noodzaak en duur van acclimatisatie ingaan betreffen de van zoetwater naar zee trekkende juveniele zalm (smolts). Meestal gerelateerd aan uitzetprogramma's van smolts, waarbij predatieverliezen in riviermondingen en estuaria vaak hoog zijn en uitzetting in zee deze sterfte kunnen reduceren, mits ze deze overgang aankunnen.



Volwassen mannetjes zalm in paaijkleeft met haakbek (foto Erwin Winter)

3.1.3 Bot - *Platichthys flesus*



Timing van intrek

				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Bot	<i>Platichthys flesus</i>	Katadroom	Juveniel												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
bot	<i>Platichthys flesus</i>	4-6	0.5	20	8	15	6	21	12.7	3	4	4	0.2	0.6	0.3

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

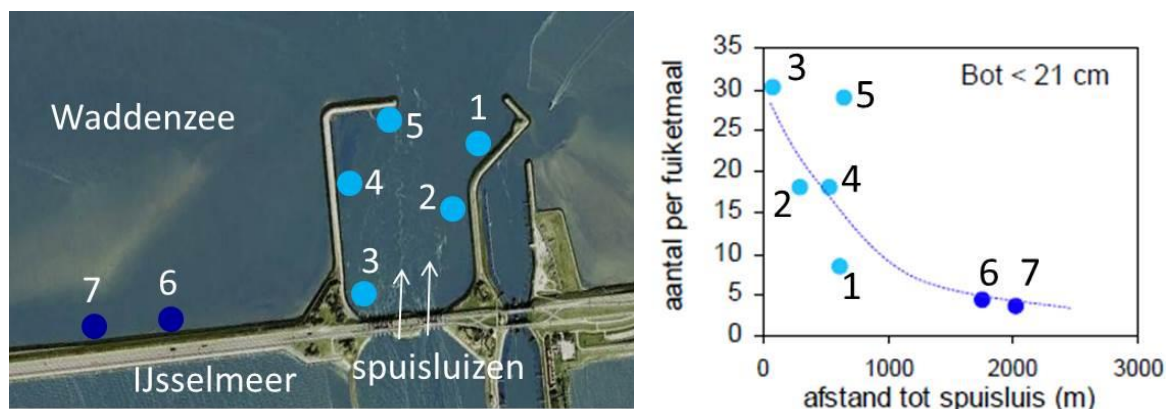
Ecologische schets van de soort

Bot is een katadrome vissoort waarvan de paaigebieden in open zee liggen (Morais et al. 2011). In de winter trekken de volwassen dieren naar diepere delen van de zee. 's Zomers gebruiken volwassen botten estuaria als voedselgebied. In het voorjaar en voorzomer trekken jonge botlarven stroomopwaarts de estuariene gebieden en rivieren op middels selectief getijdetransport en zijn hierbij afhankelijk van waterstromen (Bos 1999, Jager & Mulder 1999, Jager 2001). Ze kunnen dan in gebieden worden gevonden waar het water een laag zout gehalte heeft (Bos & Thiel 2006). Botten die voorkomen bij harde zoet-zout overgangen lijken erg kwetsbaar voor een slechte waterkwaliteit (Vethaak 2013). Wat betreft predatie hebben botten een beperkte ontsnappingskans door een lage zwemcapaciteit, maar zijn zij door hun goede schutkleur beschermd tegen predatie (Trancart et al. 2012).

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Omdat opgroei van bot ook in de Waddenzee (en andere zoute milieu's) kan plaatsvinden is het voor het voortbestaan van de soort niet strikt noodzakelijk dat ze naar zoet water kunnen trekken, maar goede migratiemogelijkheden tussen zout en zoetwater vergroot hun opgroeiareaal flink en kan daarmee de totale populatieomvang doen toenemen (Daverat et al. 2012). De bot die in euryhaline zone van het estuarium gevonden kan worden is de enige platvis van West-Europa die tot diep in het zoet water gevonden kan worden (Vethaak 2013), zolang er maar geen barrières op de route liggen. Historisch zijn botten tot honderden kilometers landinwaarts in de Duitse Rijn waargenomen. De meeste Nederlandse botten komen voor in ondiepe kustwateren en estuaria zoals de Eems Dollard en de Westerschelde. Ook in grotere brakwatermeren en zoet watermeren zoals het IJsselmeer worden ze gevonden (Overzee et al. 2011, Vethaak 2013). Een deel van de botten uit het kustwater trekt de rivieren op, de rest van de botten groeit op in kustwateren en estuaria. In het zoete water blijven de botten hooguit enkele jaren om weer naar zee te trekken om te paaïen. Daarna gaan deze botten niet meer terug naar het zoete water. De migratie van zoet-zout is vanuit een populatieperspectief minder van belang voor de overleving van de soort in vergelijking met soorten die voor hun voortplanting volledig afhankelijk zijn van een goede migratie tussen zoet en zout, maar de omvang van de populatie kan hierdoor wel veel groter worden (Daverat et al. 2012).

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES worden in de meeste jaren meer dan 10.000 botten kleiner dan 21 cm gevangen en met name in de fuiken met nummer 3 en 5 (Figuur 3-2).



Figuur 3-2. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

Een deel van de juveniele botten trekt in de lente en de zomer het zoete water in. In de Rijn werden in het verleden juveniele botten waargenomen tot aan Basel (Kroon 2009). Als deze botten geslachtsrijp zijn, migreren ze naar het zoute water om aan de paai te kunnen deelnemen. Adulte botten migreren in de winter naar de paaigebieden en planten zich voort tussen februari en mei. Na de paai trekken de vissen terug naar de foerageergebieden. De botlarven migreren middels selectief getijdetransport naar opgroeigebieden in met name de periode april-juni (Jager 1999).

Migratiegedrag en oriëntatie

Botlarven worden vanuit de paaigronden op open zee met waterstromen middels selectief getijdetransport verspreid en komen zo onder andere terecht in de Waddenzee. Eenmaal in estuaria zoals de Eems Dollard zijn botlarven alsnog grotendeels afhankelijk van waterstromen, echter er kan niet worden uitgesloten dat zij zich actief oriënteren op een zoet-zout gradiënt en dat een zoete lokstroom hier een rol in speelt (Jager 1998). Het lijkt er op dat zoutgehalte in het water een cruciale rol speelt in de verspreiding van botlarven (Jager 1998, Bos & Thiel 2006). Zo werden er in de Eems Dollard de grootste concentraties botlarven gevonden op de zoetste plekken (Jager 1998). En daarnaast migreerde

botlarven in tankexperimenten naar het meeste zoete gedeelte in de tanks bij saliniteitgehalten van 20‰ (estuarium), 15‰, 10‰, 5‰ en 0.5‰ (Bos & Thiel 2006). De voorkeur voor zoetwater bleek sterker bij botten die de metamorfose al hadden doorstaan. Uit andere experimenten blijkt dat ook watertemperatuur een rol kan spelen bij de verspreiding van botlarven richting het estuarium (Bos & Thiel 2006). Om zich actief te verplaatsen gebruiken zij in een post-larvaal en juveniel stadium selectief getijdetransport, waarbij zij zich bij afgaand tij handhaven op de bodem en zich tijdens vloed hoger in de waterkolom bevinden (Bos, 1999, Jager 1999). Zo maken zij optimaal gebruik van de stroomrichting van het water richting het zoete water. Het lijkt er niet op dat zij zich goed actief kunnen verplaatsen, en volledig afhankelijk zijn van selectief getijdetransport. Actieve dispersie vindt waarschijnlijk pas daarna plaats als de botten iets groter zijn. Er werden beduidend meer jonge botten in het IJsselmeer gevangen ten tijde van het spuiregime in de jaren '91 – '93 (Tabel 1) waar er tot gelijk water werd gespuid dan met andere spuiregimes, wat aanduidt dat de intrek van bot met het huidige regime sterk wordt belemmerd (Winter, 2009). Tijdens dit regime waren de stroomsnelheden in de spuikom aanzienlijk lager en wellicht soms zelfs richting het IJsselmeer. Hierdoor konden grote aantallen jonge botten zich richting het IJsselmeer verplaatsen, terwijl dit in andere jaren waarschijnlijk minder goed mogelijk was. Dat er kleine botten het IJsselmeer binnenkomen is duidelijk op basis van monitoring (Griffioen & Kuijs 2013), maar welk deel van het aanbod er in slaagt om binnen te trekken en of zij dit doen door 'foutjes' in het spuiregime, lekwater of via de scheepsluizen is onduidelijk. De geringe match tussen abundantie op het IJsselmeer en de Waddenzee, en de hogere aantallen in 1991-1993 suggereren dat de intrek momenteel fors is belemmerd (Winter 2009).

Bot migreert én foerageert voornamelijk overdag (Trancart et al. 2012). Desondanks zijn er ook botten gevangen tijdens monitoring van de intrek bij de spuisluizen bij Kornwerderzand die voornamelijk in de nacht plaatsvond (Witteveen+Bos 2009a), maar onduidelijk was of dit botten waren die tussen de spuideuren in hebben gezeten nadat zij 'gevangen' hebben gezeten na het spuien, of dat zij actief in de nachtelijke uren vanuit de Waddenzee naar binnen trokken. De aantallen botten in deze studie waren aanzienlijk minder dan driedoornige stekelbaars en spiering.

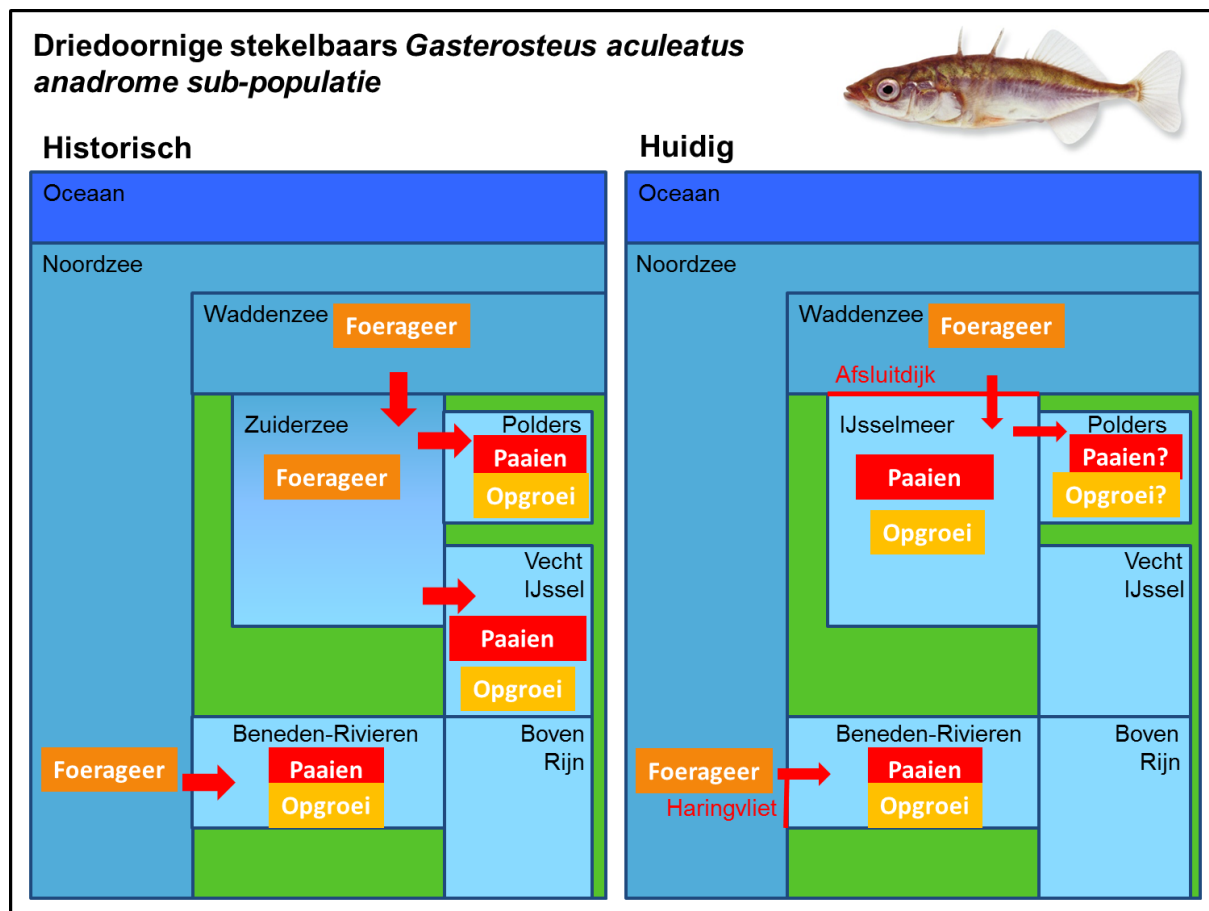
Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Juvenile bot die het zoete water optrekken zijn grotendeels afhankelijk van waterstromen en tactieken als selectief getijdetransport (Bos 1999, Jager 1999, Jager 1998) en zijn zwakke zwemmers. Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.3 m/s voor botten tot 5 cm groot.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Botten worden binnen de Kader Richtlijn Water onder de estuariene soorten gerekend (Jager & Kranenburg 2004, Kranenburg 2004, Jager 2008). Botten kunnen hun levenscyclus voltooien met gebruik making van estuaria of rivierhabitats maar ook volledig op zee met gebruikmaking van kustzones. Botten in het larvale stadium en in grotere mate in het post-larvale en juveniele stadium hebben een grote voorkeur voor zoet water (Bos & Thiel 2006). In 1988 waren veel (volwassen) botten (~40%) nabij de spuisluizen geïnfecteerd (Vethaak 2013). De invloed van het gespuide water vanuit het IJsselmeer bleek in de jaren 1988 – 1996 een sterke relatie te hebben met infectieziekten. Stressfactoren als grote fluctuerende saliniteit gehalten als gevolg van het spuien, naast een slechte waterkwaliteit en beperkte foerageermogelijkheden lijken de oorzaak van de ziekteverschijnselen bij bot. De ziekteverschijnselen zijn na 1996 sterk verminderd en niet anders dan in andere gebieden buiten de Waddenzee. Toch geeft Vethaak (2013) aan dat, hoewel er een sterke daling is van de ziekten, er nog steeds significant meer huidzweren worden gevonden bij de spuicomplexen (1%) dan elders in de Waddenzee (<1%) waar het behoort tot de natuurlijke achtergrond. De auteurs wijten de sterke vooruitgang van de gezondheid van de botten vooral aan een verbeterde waterkwaliteit in de Waddenzee en de Eems Dollard en de verbeterde lokale habitats waar er geen directe invloed is van spuiwater. Wellicht dat stress door het grote verschil in saliniteit een deel van de populatie kwetsbaar maakt voor huidziekten.

3.1.4 Driedoornige stekelbaars - *Gasterosteus aculeatus*



Timing van intrek

Timing van interactie															
				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Driedoornige stekelbaars	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
driedoornige stekelbaars	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	3-4	0.5	25	9	15	15	115	6.8	4	9	7	0.2	0.9	0.5

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

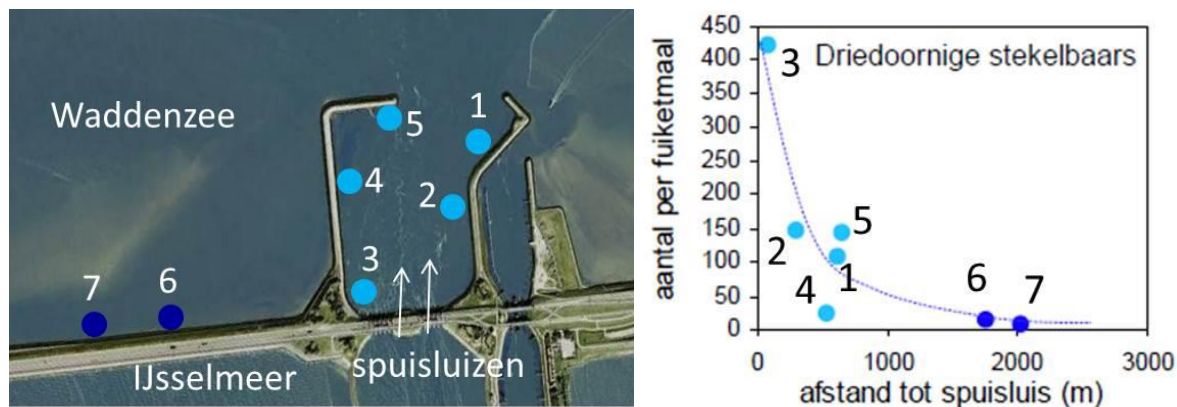
Driedoornige stekelbaars is een zeer flexibele soort die zich zowel in zout, brak, als zoet water kan voortplanten en zowel resident (morphotype: *leiurus*) als anadroom (morphotype: *trachurus*) kan zijn. Hoe de huidige aantalsverdeling van de populaties met de verschillende strategieën is, is onbekend, al is het zeker dat de anadrome variant veel minder talrijk is geworden door barrières tussen het zoete en het zoute water. Driedoornige stekelbaars is door zijn kleine lichaamslengte een goede prooi voor visetende vogels zoals lepelaars, sterns, meeuwen, reigers, zaagbek etc. Maar ook piscivore vissen prederen op de stekelbaars zoals snoek, baars en wellicht ook zoutwater vissen in de Waddenzee zoals zeebaars.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Stekelbaars heeft migrerende en niet migrerende sub-populaties. Voor de migrerende sub-populaties is migratie tussen zoet en zout van belang, voor de niet migrerende sub-populaties zijn zoet-zout

overgangen niet van belang. Driedoornige stekelbaars komt slechts in zeer klein aantal voor langs de oevers van het IJsselmeer (van Keeken et al. 2009), waarbij het hier ook om de niet-trekkende populatie kan gaan. In vergelijking met de historische situatie is de trekkende driedoornige stekelbaars in het achterland van de Afsluitdijk enorm afgenomen.

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES zijn aantallen gevangen tot meer dan een miljoen driedoornige stekelbaars per jaar en met name in fuiken nummer 3 vlakbij de deuren (Figuur 3-4).



Figuur 3-4. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

De anadrome driedoornige stekelbaars trekken bij Kornwerderzand vanuit de Waddenzee in het voorjaar (februari-mei) om in het zoete binnenwateren te paaieren en het najaar als ze weer naar zee trekken in september en oktober wanneer de temperaturen dalen en de daglengte korter worden (Wootton 1976). Volgens beroepsvissers bij Kornwerderzand vindt de migratie in het voorjaar plaats vlak na de spiering die normaal gesproken rond eind maart passeert (pers. comm. gebr. Van Malsen). Dit komt overeen met studies waar de intrek van stekelbaars ook is waargenomen in maart - mei bij Nieuw Statenzijl en Kornwerderzand (Bult & Dekker 2007, Witteveen+Bos 2009a). Het 'langer doorlopen' van hogere vangstaantallen bij Kornwerderzand is mogelijk een resultante van een langere verblijftijd in de spuikom, waar er in een open systeem de aantallen in aanbod pieken tijdens een kortere periode.

Migratiegedrag en oriëntatie

Net als glasaal en bot is stekelbaars voor een deel afhankelijk van selectief getijdentransport (Bult & Dekker 2007). Zo werden er in een studie bij Nieuw Statenzijl veel stekelbaars gevangen in een passage die aansluit bij selectief getijdetransport. Ook bij het onderzoek van Witteveen+Bos (2009) bleek dat middels schutten van de spuideuren veel driedoornige stekelbaars aan de IJsselmeerzijde werd gevangen. Hoeveel stekelbaars er tijdens een reguliere spui binnentrekken en hoe dit in verhouding staat tot het schutten zoals hier werd onderzocht is vooralsnog onbekend, maar er wordt aangenomen dat dit zeer beperkt is. Dit wordt bevestigd door het geringe voorkomen langs de oevers van het IJsselmeer (van Keeken et al. 2012). Stekelbaars wordt ook waargenomen tegen de stroom in zwemmend bij hevelpassages (Wintermans 1997, Wintermans 2004). In de Eems zijn stekelbaarzen waargenomen voor een stuw (Emssperwerrwerk bij Ditzum), waar zij zich ophopen (Scholle et al. 2005, - 2007). In het migratie venster waarbinnen zij kunnen migreren (15-20 min) passeren zij met honderden tegelijk de stuw (Jörg Scholle pers. comm.). Over de passage efficiëntie, de verhouding tussen aanbod en succesvolle passage is echter geen informatie. De saliniteit bij deze overgang is van licht brak naar zoet, maar er is over het hele traject variatie in de saliniteit.

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

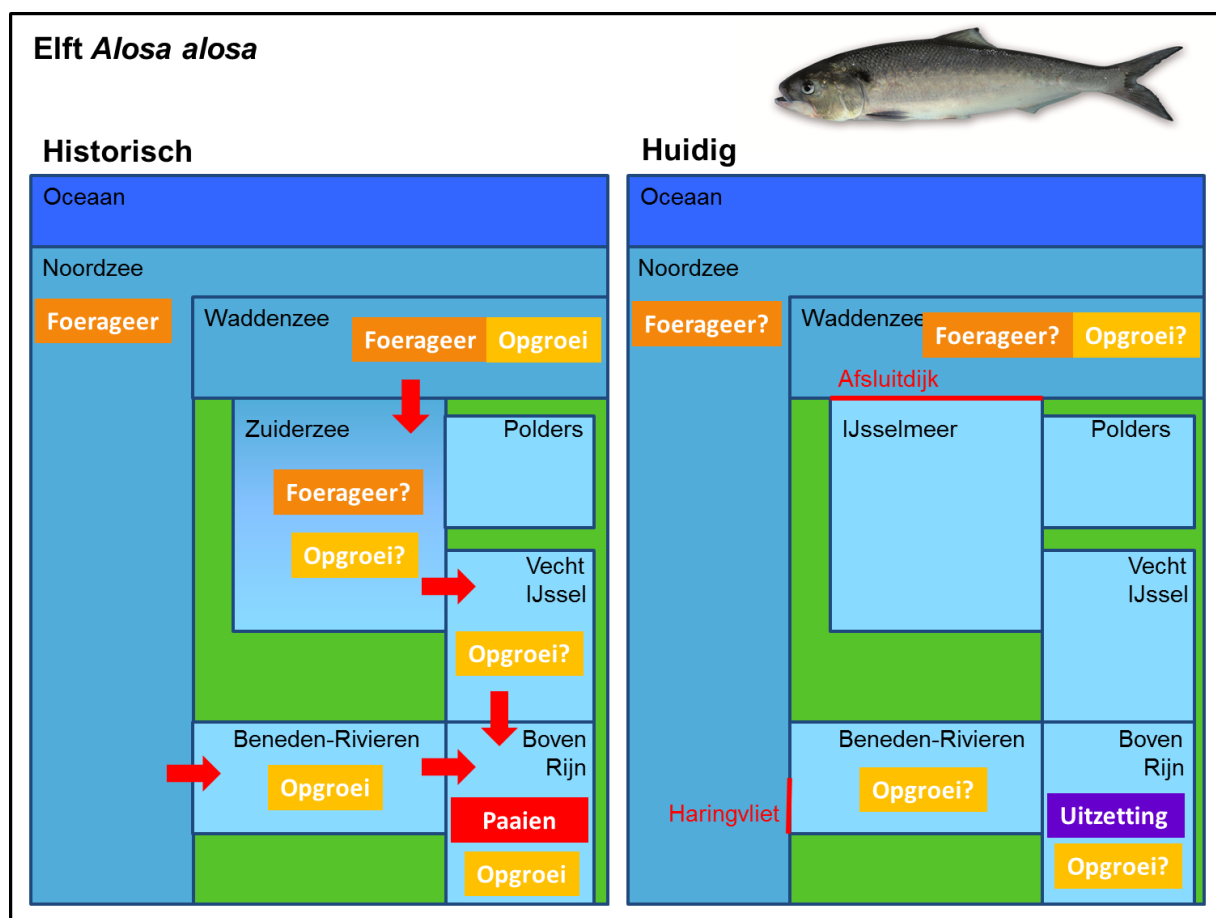
De twee typen stekelbaars vertonen verschillende eigenschappen wat betreft zwemcapaciteit (Tudorache et al. 2007), wat waarschijnlijk te wijten is aan een verschillend hormonaal systeem (Kitano et al. 2012).

Hierbij heeft de migrerende vorm een grotere zwemcapaciteit met mogelijk een lager energie verbruik (Tudorache et al. 2007). Er wordt verschillend gedacht over de zwemcapaciteit van stekelbaars, waarbij de theorie eerst was dat de migrerende vorm aangepast was op lange afstand zwemmen en hierdoor mogelijk minder goed was aan het ontwijken van predatoren en daarom meer borstplaten heeft dan de residente vorm (Bergström 2002). Tudorache et al (2007) wijst er juist op dat de migrerende vorm genoeg zwemcapaciteit heeft om predatoren te ontwijken maar meer vertrouwd op de borstplaten. Een andere studie geeft aan dat de sprintcapaciteit van de anadrome vorm ($\sim 66\text{cm/s}$) lager ligt dan de residente vorm ($\sim 90\text{cm/s}$) over een afstand van 2 (anadroom) – 2.7 meter (resident) bij een temperatuur van rond de 9.5 graden, maar dat de anadrome soort minder snel moe is bij langdurig zwemmen (Taylor & McPhail 1986). Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.2 m/s voor driedoornige stekelbaars.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Ook bij stekelbaars is er veel onderzoek gedaan naar de fysische veranderingen van stekelbaars tijdens het verplaatsen van zout naar zoet water. Het is echter onbekend in hoeverre zij een specifiek acclimatisatiezone en -periode nodig hebben. Feit is dat stekelbaars van het migrerende type (*trachurus*) gedurende het paaiseizoen beter is staat is om in een omgeving te leven met lage zout gehalten. Andersom verliezen zij deze eigenschappen in de herfst wanneer zij richting zee migreren (Lam & Hoar 1967). Een review artikel door Kitano et al. (2012) laat zien dat speciale eigenschappen om een zoet-zout gradiënt te kunnen weerstaan hormonaal gedreven zijn. Dit betekent onder andere dat de migrerende vorm van de stekelbaars hogere thyroxine niveaus heeft. Hierdoor verschillen het metabolisme, de zwemcapaciteit en de osmoregulatie tussen de residente en de anadrome vorm van de stekelbaars. Er zijn geen meldingen van massale sterfte bekend bij het passeren van hevelpassages waarbij de overgang tussen zoet en zout abrupt is. Persoonlijke observaties van Peter Paul Schollema en George Wintermans waarbij driedoornige stekelbaarzen probleemloos snel werden overgeplaatst van zout naar zoet water suggereren ook dat er weinig tijd/aanpassing nodig is voor de overgang van zoet naar zout.

3.1.5 Elft - *Alosa alosa*



Timing van intrek

Timing van intrek															
				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Elft	<i>Alosa alosa</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
elft	<i>Alosa alosa</i>	5	0.7	20	8	15	9	20	12.8	50	70	60	2.6	5.8	3.5

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

De elft is een anadrome trekvis die in scholen leeft in het open water. Elft is een haringachtige die een lengte tot 70 cm kan bereiken. De paai vindt plaats op grindbanken in de middenloop van rivieren bij 16 tot 18 graden Celsius, waarna de volwassen dieren die de paai hebben overleefd het zoete water weer verlaten. In de Rijnmonding lagen de paaiplaatsen zelfs tot voorbij Basel (de Groot 2002). De larven en juvenielen van elft groeien op in de rivier. Na het eerste en soms tweede jaar trekken de juveniele elften naar zee, waarbij een deel gebruik maakt van estuaria om op te groeien (Lochet et al. 2009).

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Elft is in het midden van de jaren '30 van de vorige eeuw verdwenen in de Nederlandse zoete wateren door overbevissing, migratiebarrières, verslechtering van waterkwaliteit en rivierwerken (de Groot 2002). Incidenteel zijn sindsdien enkele exemplaren gevangen, maar deze 'strayers' van buitenlandse populaties

waren onvoldoende om de soort te doen terugkeren. Omdat de enige grotere populaties van elft zich ver van het Rijn en Maas stroomgebied bevinden (bijvoorbeeld Dordogne in Frankrijk) is in Duitsland besloten om een herintroductieprogramma voor elft op te starten. Gedurende 2011-2015 worden elftlarven uitgezet in het Rijnstroomgebied in het kader van dit LIFE herintroductieproject (LANUV, 2011). Of de huidige omstandigheden voor een herstel van een elft populatie inmiddels voldoende zijn, zal in de komende jaren moeten blijken, wanneer de uitgezette elften volwassen zijn geworden.

Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor elft is groot. Elft kan het bovenstroomse deel van de Rijn via drie routes bereiken: De Afsluitdijk, het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg, waarbij momenteel alleen de laatste vrij optrekbaar is. Elft plant zich voor in de middenstroomse gedeeltes van het Rijngebied en voor de soort is het van belang dat ze op kunnen trekken tot de paaigronden. Een succesvolle passage van de Afsluitdijk is voor de Elft belangrijk als één van de routes richting de paaigronden. Het is momenteel onduidelijk hoe het herintroductieprogramma aanslaat. Er zijn nog vrijwel geen jonge elften waargenomen, maar die kunnen gemakkelijk over het hoofd worden gezien tussen de veel talrijker voorkomende jonge fint waar deze juvenielen zeer sterk op lijken. Volwassen elften zijn gemakkelijker te identificeren en als er een toename is in optrek van adulten zal dit opgemerkt worden.

Timing van migratie

De optrek vindt met name plaats in de maand mei, vandaar de Duitse naam 'Maifisch'. De paai van elft in de Rijn vond plaats in mei en juni, waarbij elft paaide in bochten en zijarmen van de rivier op grindbodems. Het paaien vindt vlak onder de oppervlakte van het water plaats. Jonge elften groeien op in het rivierensysteem en bereiken meestal tegen het einde van de zomer en begin van de herfst het estuarium. Het grootste deel trekt naar zee in de periode oktober tot februari, terwijl een klein deel achterblijft en een jaar later naar zee vertrekt.

Migratiegedrag en oriëntatie

Er zijn geen directe migratie gedragsstudies bekend van de elft in Nederland. Ook het oriëntatie vermogen om de paaigronden te vinden moet worden afgeleid uit soortgelijke vissen van hetzelfde geslacht *Alosa*. Een studie naar het gedrag van zeven *Alosa sapidissima*, een Noord-Amerikaanse fintachtige, wijst uit dat vijf dieren zich met het getij mee bewogen, één ging direct stroomopwaarts en één bewoog zich stroomafwaarts (Dodson et al. 1972). De auteurs relateren dit gedrag van de vijf dieren aan de acclimatisatie fase van de vis om te wennen en aan te passen aan het zoete water. Bij een vervolgstudie werden 43 vissen gezenderd (Dodson & Leggett 1973). Nu werden er duidelijke twee gedragspatronen waargenomen: één tegenstrooms gedurende de nacht en overdag en één met het getij mee met name overdag. Fintachtigen (*Alosa* spp.) lijken zich zowel overdag als in de nacht actief te bewegen. Ook laat een andere studie naar dezelfde fintachtige zien dat ook hier de vissen zowel overdag als in de nacht actief zijn, maar dat wanneer er hydraulisch complexere situaties ontstaan de activiteit met name overdag plaatsvindt (Keefer et al. 2013). Dodson et al (1972) gaan ervanuit dat de bewegingen van de fintachtigen niet random zijn, maar gericht richting de geboorterivier. Hierbij geven ze aan dat chemische substanties uit de geboorterivier leidend kunnen zijn maar sluiten oriëntatie op andere factoren als een zoet-zout gradiënt niet uit.

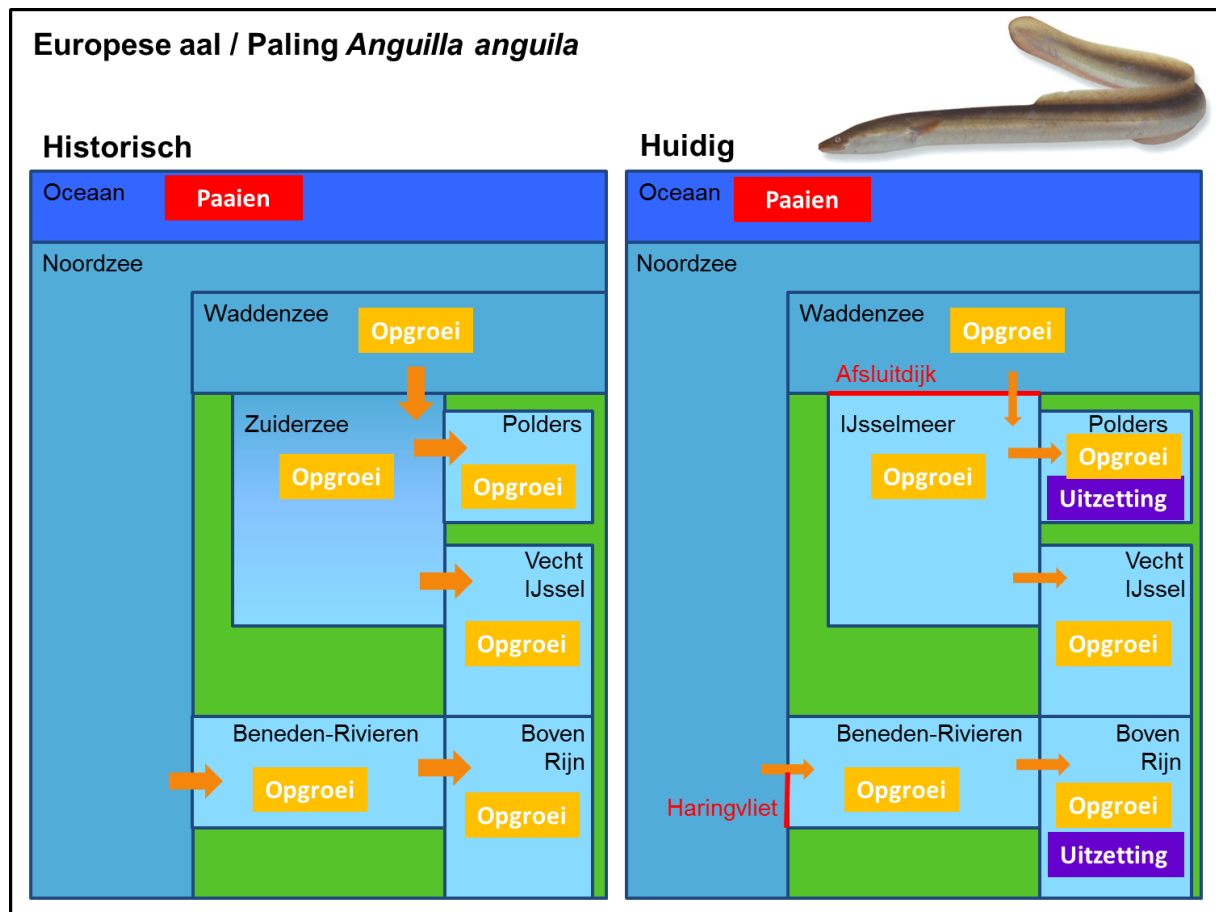
Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Een studie naar American Shad *A. sapidissima* wijst uit dat de duurzweemcapaciteit neerkwam op 1 lichaamslengte per seconde en de sprintcapaciteit op 3 lichaamslengte per seconde (Castro-Santos 2005). Op basis van sprintfish wordt een sprintsnelheid van 2.6-5.8 m/s ingeschat.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

In de literatuur wordt het gedrag bij zoet-zout overgangen waarbij fintachtigen met het getij mee bewegen gerelateerd aan het acclimatiseren aan zoet water tijdens de migratie (Dodson et al. 1972). Een studie naar American shad, waarbij 35 dieren snel van zout naar zoet water zijn gebracht, gaf aan dat bijna alle dieren dood gingen als gevolg van de overplaatsing naar zoet water (Leggett & Boyle 1976).

3.1.6 Europese aal - *Anguilla anguilla*



Timing van intrek

				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Europese aal	<i>Anguilla anguilla</i>	Katadroom	Juveniel												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
europese aal	<i>Anguilla anguilla</i>	3-5	0.5	15	7	15	15	20	8.8	7	8	8	0.2	0.8	0.4

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

De Europese aal is een katadrome soort die vanuit zee het zoete water opzoekt om op te groeien. Aal plant zich waarschijnlijk voort in de Sargassozee en de Leptocephalus larven drijven met de stroming mee naar het Europese continent en Noord-Afrika. De inmiddels tot glasaal uitgegroeide vissen trekken het zoete water binnen om op te groeien. Na het verblijf in het zoete water veranderen morfologische kenmerken van de alen wederom (van 'rode aal' naar 'schieraal') en trekken ze naar zee om zich voort te planten.

De aalpopulatie kent een sterke afname gedurende de afgelopen decennia (Dekker 2004). Zo is de huidige intrek van glasaal slechts 1-5% van de intrek in de jaren 60-70 (Bierman & de Graaf 2012). Verschillende factoren zijn mogelijk verantwoordelijk voor deze sterke afname zoals vervuiling, visserij, klimaatverandering, migratiebarrières en exotische parasieten (Wirth & Bernatchez 2003, Feunteun 2002, Dekker 2004), maar het relatieve aandeel van elk van deze factoren is onbekend. Het aanbrengen van veel onnatuurlijke structuren in watersystemen heeft geleid tot barrières die de migratie belemmeren of de sterfte tijdens migratie verhogen, zoals dammen, stuwen, waterkrachtcentrales, gemalen en sluizen.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor aal is groot. Er zijn weliswaar ook opgroeiende alen bekend in zout (brak) water, zogenaamde 'buitenaal'. Dit geeft aan dat voor een deel van de alen de migratie naar zoet water niet noodzakelijk is. De bijdrage van het deel van de populatie dat in het zoute water opgroeit is onbekend, maar er wordt aangenomen dat dit relatief klein is en dat het grootste deel van de populatie afhankelijk is van intrek in zoete wateren. Opvallend is dat met het sterk afnemen van de aal, deze gelijktijdig vrijwel verdwenen is uit de Waddenzee, die vrij toegankelijk is. Dit zou er op kunnen duiden dat de Waddenzee een sub-optimaal habitat is, waar soorten zich bij afnemende aantallen met name handhaven in de optimale habitats. De huidige onderzoeken bij Kornwerderzand zijn niet geschikt voor glasaal en over het aanbod van glasaal bij Kornwerderzand is weinig bekend. Bij Den Oever worden de dichtheden glasaal al heel lang geregistreerd (Bierman & de Graaf 2012) en op basis van onderzoek in de jaren '90 lijkt het aannemelijk dat het aanbod van glasaal bij Kornwerderzand vergelijkbaar is als bij Den Oever (Dekker & van Willigen 2000).

Timing van migratie

Jonge aal (glasaal) trekt voornamelijk in de maanden maart, april en mei de zoete wateren binnen, maar kunnen ook al in de maand februari worden gevonden in de Waddenzee (Creutzberg 1961). De intrek van glasaal vindt vooral 's nachts plaats (Deelder 1952, - 1958, Dekker & van Willigen 2000). Glasaal zwemt het binnenwater in als de temperatuur boven 7 °C komt (Dekker 1998) en Deelder (1952) geeft aan dat de glasaal bij 4.5 °C aan de zeezijde verschijnt, van Heusden (1943) in Quak et al. (2012) geeft aan dat er glasaal aanwezig is bij 3-11 °C, waarbij de grootste aantallen bij 6-9 °C. Volwassen schieraal trekt richting zee voornamelijk in de maanden september-november, maar ze kunnen ook gedurende de andere maanden richting zee vertrekken (Winter et al. 2006, Klein-Breteler et al. 2007).

Migratiegedrag en oriëntatie

Glasaal die vanuit de paaipplaats in de Atlantische Oceaan naar het Europese continent drift verspreid zich over met name het Europese continent, maar ook IJsland en Noord-Afrika. Hierbij spelen waterstromingen een grote rol. Daarnaast spelen ook geurstoffen een rol in de oriëntatie richting het zoete water, waarbij zij zich grotendeels verplaatsen door slim gebruik te maken van de getijcyclus (Creutzberg 1959, Creutzberg 1961, Dekker 2000, Bult & Dekker 2007, Dekker & van Willigen 1997, - 1998, Boliet et al. 2007). Hierbij lijkt, zeker op iets grotere afstanden, niet zozeer de zoet-zout gradiënt van belang, maar organische verbindingen die met het zoete water worden meegevoerd naar zee. Eén van de eersten die hier onderzoek naar heeft gedaan is (Creutzberg 1959, - 1961). Hij toonde aan dat zoet oppervlaktewater dat sterk verdund was met zeewater glasaal aantrok. Maar wanneer het zoete oppervlaktewater was gefilterd met kool en daarna sterk verdund met zeewater, verloor het z'n aantrekkingskracht op glasaal. Dit resultaat bleef hetzelfde onafhankelijk van verschillende zoutconcentraties. Hij concludeerde dat organische substanties in het oppervlaktewater verantwoordelijk moesten zijn voor de aantrekkingskracht op glasaal.

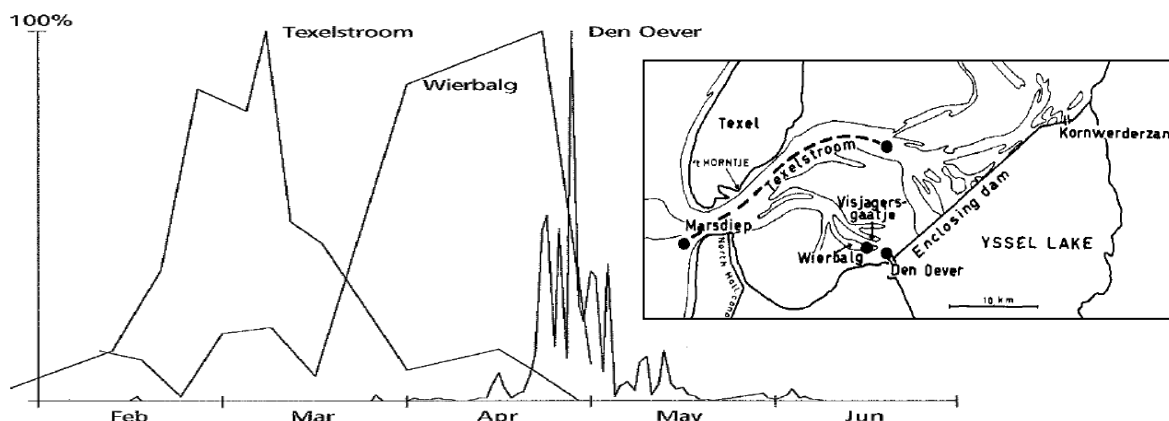
Verschillende functies worden verondersteld voor de diverse soorten geurstoffen die een aantrekkende werking op glasaal hebben (Pesaro et al. 1981):

- Om tijdens de migratie riviermondingen te vinden
- Om soortgenoten te vinden
- Om voedsel te vinden

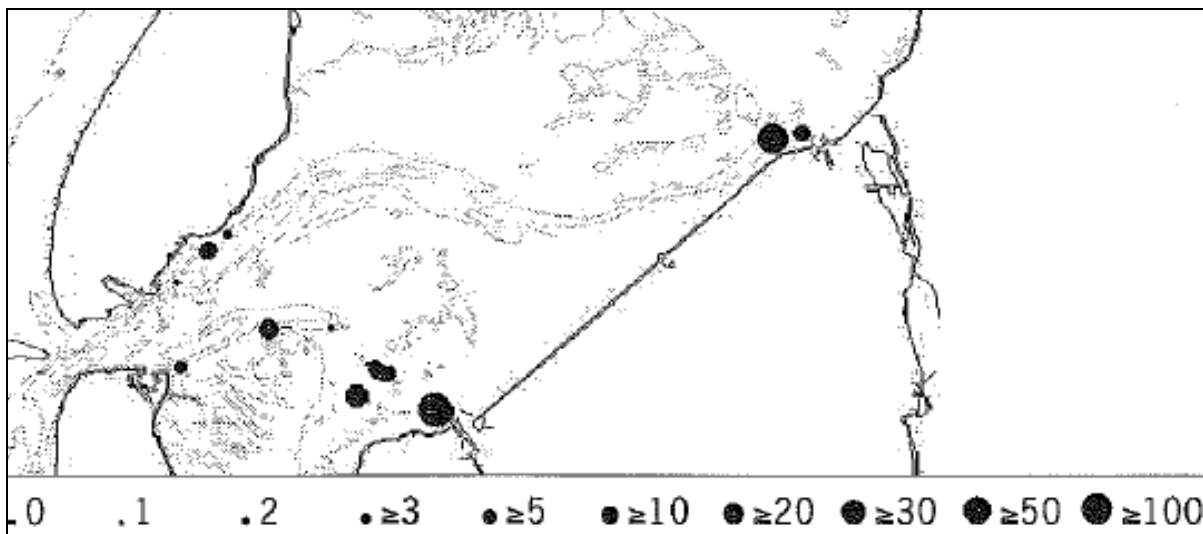
Omdat in keuze-experimenten rivierwater sterk wordt geprefereerd door glasaal boven estuarien water, wordt verondersteld dat natuurlijk zoet water organische geurstoffen bevat die werken als aantrekkende oriëntatieprikkel bij migrerende glasaal van zowel de Europese als Amerikaanse aal (Creutzberg 1959, Creutzberg 1961, Miles 1968, Sorensen 1986). Geurstoffen zijn hierbij van belang omdat glasaal waarbij het reukvermogen was uitgeschakeld niet in staat was onderscheid te maken tussen rivier- en bronwater (Hain 1975). Omdat deze aalsoorten uit één pan-mictische populatie bestaan en vanuit de Atlantische oceaan en kustwateren langs het gehele Noord-Amerikaanse en Europese kustlijn voorkomen, wordt verondersteld dat herkenning van deze organische geurstoffen is aangeboren en dat deze geurstoffen universeel voorkomen in rivieren (Sorensen 1986). Verschillende studies zijn uitgevoerd om te onderzoeken welke organische componenten of bronnen verantwoordelijk waren voor de aantrekkende werking van natuurlijk rivierwater (Hain 1975, Tosi & Sola 1993). Een combinatie van meerdere geurstoffen, waarbij bacteriële afbraak een belangrijke rol spelen, lijkt de meest waarschijnlijke reden voor de grote aantrekkingskracht van rivierwater. De relatieve concentraties van deze geurstoffen leiden glasaal niet alleen naar rivieren, maar maakt het wellicht ook mogelijk om onderscheid te maken in meer en minder productievare rivieren (Sorensen 1986).

Naarmate glasaal dichtbij de spuicomplexen komt combineren zij mogelijk de oriëntatie op basis van geurstoffen (oriëntatie) met het slim gebruik maken van het getij (verplaatsing en oriëntatie) om uiteindelijk bij de spuideuren te komen (Creutzberg 1959, - 1961, Dekker & van Willigen 1997, - 2000). Metingen van Creutzberg (1961) en gegevens van het voormalig RIVO bij Den Oever laten zien dat glasalen naarmate het voorjaar vordert steeds dichtbij de deuren van den Oever komen, totdat ze zich daar ophopen in april en mei (Figuur 3-5). Uiteindelijk komen zij in vergelijkbare dichtheden voor bij beide spuicomplexen in de Afsluitdijk (Figuur 3-6).

Van Heusden (1943 in Quak et al. 2012) geeft aan dat de aanwezigheid en het gedrag van glasaal samenhangt met een aantal factoren: gerelateerd aan spuien en iets meer bij volle maan en springtij. Bij rust overdag graven de glasalen zich in, bij activiteit oriënteren ze zich op stroming en harde structuren (bijvoorbeeld oeverwanden). Deelder (1952) bevestigt het overdag ingraven en aggregaties bij uitstromen van zoetwater. Deelder (1952) vermoedt dat intrek via de 'lekkende' sluizen plaatsvindt, niet zozeer door het gevoerde sluisbeheer. Verder geeft hij aan dat glasaal zich meer via de bodem beweegt dan aan de opperclakte zwemmend, wat voordien gedacht werd. Deelder (1960) maakt onderscheid tussen langer aanwezige glasaal die schoolt nabij de oever en meer aan de oppervlakte zwemt en door zwak licht aangetrokken kan worden, en nieuw aangekomen glasaal die zoetwater zelfs mijdt.



Figuur 3-5 ontwikkeling van de glasaal-vangsten in 1958 in de Texelstroom (zie inzet), de Wierbalg en op de sluizen van Den Oever. Figuur overgenomen van (Creutzberg 1961, Dekker & van Willigen 1997).



Figuur 3-6 Verspreiding van de glasaal in de ankerkuilvangsten in de Westelijke Waddenzee, in de voorjaren van 1998 en 1999 (Dekker & van Willigen 2000)

Mede op basis van studies bij het sluizencomplex bij Den Oever in de jaren vijftig (Deelder 1952, - 1958, 1960) en de jaren negentig (Dekker & van Willigen 1997, - 1998), concludeert Dekker & van Willigen (2000) dat er nog tot in mei selectief getijdetransport te zien is in de vangsten van glasaal rondom de sluizen. Dit gecombineerd met de verblijftijd die kan oplopen tot minimaal enkele weken, lijkt het hen zeer waarschijnlijk dat de glasaal voor de sluizen, nog dagelijks blootgesteld aan het getij, zich tot laat in het migratieseizoen verlaat op selectief getijden transport. Ook verschillen in timing van pieken in netvangsten ('aanbod'), en doortrek via aalgoten van gemiddeld twee weken bij harde zoet-zout-overgangen in Zeeland (Winter et al. 2007) zijn in overeenstemming met het idee dat er lange verblijftijd is aan de zeezijde van barrières en dat pas in latere instantie wordt overgegaan van selectief getijdentransport naar actief zwemgedrag.

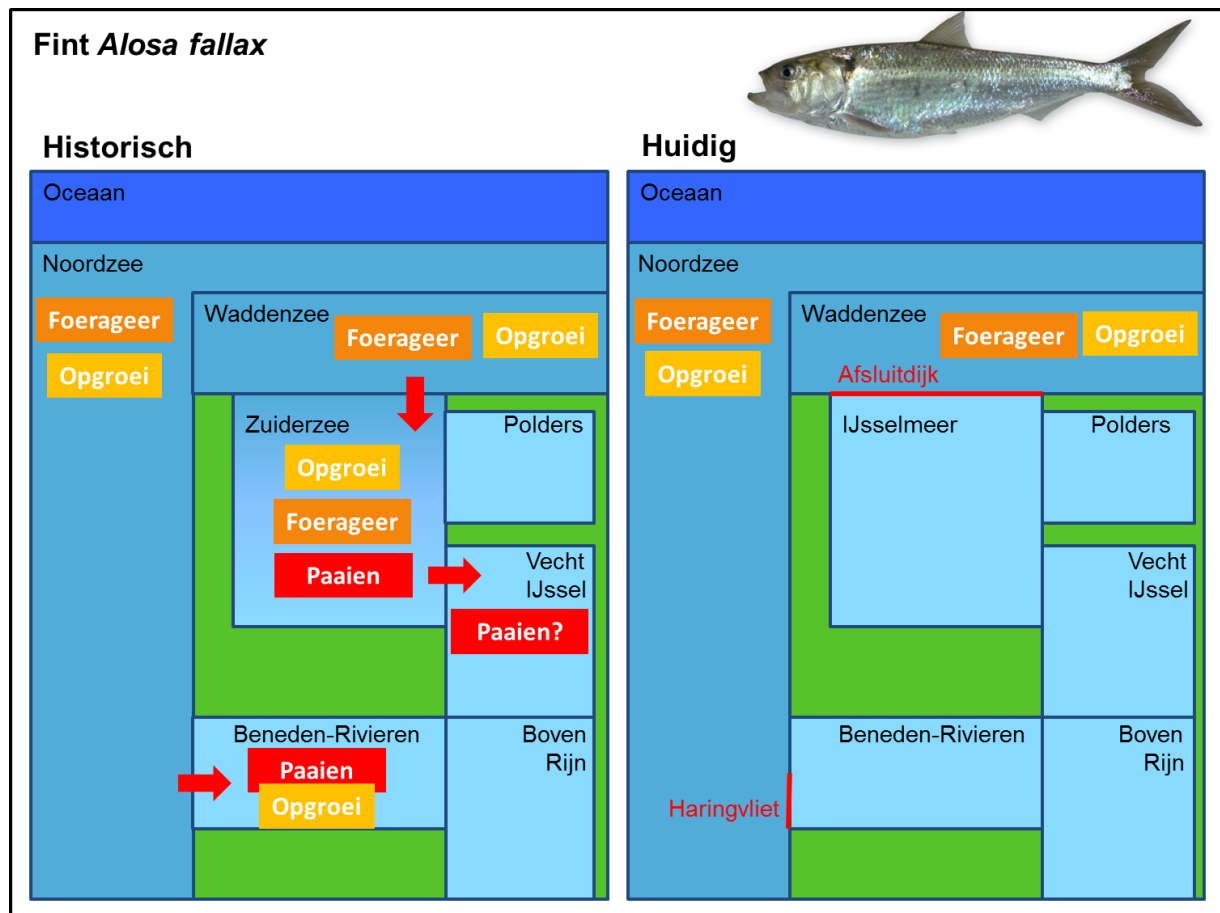
Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

McCleave (1980) heeft sprintsnelheden van 0.25-0.50 m/s gemeten voor glasaal van 7 cm (wat redelijk overeenkomt met de gemiddelde sprintsnelheid geschat met Sprintfish van 0.4 m/s), waarbij snelheden tot 0.23 m/s gedurende 3 minuten konden worden volgehouden. Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.2 m/s voor glasaal van 5-6.5 cm.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Glasalen gevangen in een estuarium met een saliniteit van 24‰ hadden een overleving van 100% bij een actuele overplaatsing naar zoet water (Wilson et al. 2004). Dit duidt erop dat glasalen goed in staat zijn om snelle veranderingen van zout naar zoet aan te kunnen. Ook het voorkomen van palingpopulaties in kleine rivieren die geen estuarium hebben zijn in lijn met dat zij in staat zouden moeten zijn om een 'harde overgang' tussen zoet-zout te kunnen passeren. Glasaal lijkt zich wel hormonaal te moeten prepareren op een overgang van zout naar zoet, en vroeg in het jaar arriverende glasaal kan wellicht minder goed een abrupte overgang worden gemaakt dan later in het glasaal trekseizoen. Dat glasaal zich ophoopt in bepaalde gebieden in estuaria of bij zoet-zout barrières hoeft niet met aanpassing te maken te hebben, maar kan bijvoorbeeld ook een gevolg zijn van het lange tijd vertrouwen op selectief getijdetransport alvorens er wordt overgegaan tot actief tegen de stroming zwemmen.

3.1.7 Fint - *Alosa fallax*



Timing van intrek

Timing van trek															
				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Fint	<i>Alosa fallax</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
fint	<i>Alosa fallax</i>	4-5	0.7	20	8	15	6	20	10.7	40	55	48	1.9	5.7	2.8

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

Fint is een anadrome soort die vanuit zee het zoete water opzoekt om te paaien. Als paaihabitat prefereren finten grindbanken (Maitland & Lyle 2005). De eieren worden pelagisch afgezet in het zoetwatergetijdengebied van estuaria, zijn niet-kleverig en bewegen zich vrijelijk in de lagere gedeelten van de waterkolom met het getij in estuaria mee (Esteves & Andrade 2008). Na het paaien trekken de adulten terug naar zee. De eieren bevinden zich in het zoete water. Als de larven uit het ei komen, drijven ze stroomafwaarts, in Nederland meestal naar het Waddengebied, waar ze een jaar pelagisch verblijven (de Groot 1992), daarna leven ze pelagisch in open zee. De gebroeders van Malsen hebben in het verleden grote fint gevangen, maar dit is al enkele jaren niet meer het geval. Wel werd er in 2006 een grotere hoeveelheid kleinere fint (10 – 15cm) gevangen wat ook weer het geval lijkt te zijn in 2013 (pers. comm. gebr. van Malsen).

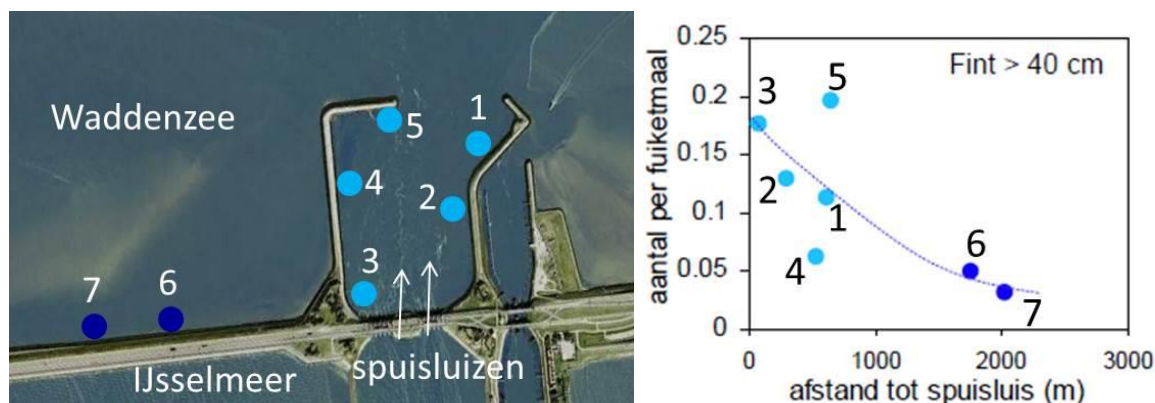
Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor fint is groot. In het verleden paaide de fint in de Merwede en de Bergse Maas, maar de werkelijke paaigebieden zijn nooit gevonden (de Groot 1992). In de Eems werden in augustus 1999 in het midden van de rivier jonge finten van circa 10 cm aangetroffen (Kleef & Jager 2002). In het voorjaar van 2005 werden paaiende finten waargenomen in de Beneden-Merwede (waarnemingen vissers van Fa. Klop). Of daadwerkelijk in Nederland gepaaid wordt is nog steeds de vraag. Wat wel duidelijk is, is dat geschikt habitat (getijdegebied met zand of grind) daarvoor in het IJsselmeergebied ontbreekt. Voor de soort is het van belang dat deze de rivier op kunnen trekken tot de paaigronden. In ons land was de Brabantse Biesbosch in het verleden een belangrijk paaigebied voor de fint. Zeer waarschijnlijk vervulden ook de Oude Maas, Lek, Eems en Schelde in het verleden een dergelijke functie. Tegenwoordig komt de soort in kleine aantallen voor langs de kust en in de benedenrivieren (ook in de Eems en Schelde). In 1999 is in het Duitse deel van de Eems weer succesvol gepaaid en in 2005 hebben beroepsvissers voor het eerst sinds lange tijd weer paaiedrag van finten waargenomen in de Nieuwe Merwede. Of dit betekent dat er zich een duurzame paaipopulatie begint te vormen is onbekend. Gezien de slechte kwaliteit van het leefgebied lijkt het nog een brug te ver voor succesvolle paai en opgroei van finten in het IJsselmeer- en benedenrivierengebied. Er zijn momenteel geen voor de voortplanting van de fint geschikte en toegankelijke estuaria en zoetwatergetijdengebieden. De status van de fint in de Westerschelde is onbekend. Er worden daar wel exemplaren gevangen, maar ook hier lijken de leef- en ook de waterkwaliteit in de zoete Schelde ontoereikend voor herstel van een zich voortplantende populatie. Finten worden in een groot deel van de Noordzee - met uitzondering van de Centrale Noordzee - waargenomen, maar hoofdzakelijk in de Duitse Bocht en de Zuidelijke Bocht. De meeste exemplaren zijn juveniel en behoren tot de 0- of 1-groep. In de Nederlandse Noordzee, langs de Nederlandse kust en bij zoet-zoutovergangen in riviermondingen worden relatief veel finten waargenomen, die zullen allemaal of bijna allemaal afkomstig zijn van populaties uit omliggende landen.



Jonge fint van 10 – 15 cm gevangen in de spuikom in november 2013

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES zijn de vangsten voor fint groter van 40 cm laag maar geven de fuiken met nummer 3 vlakbij de deuren en 5 de hoogste vangsten (Figuur 3-7). Grote fint werd in de waterstroom tijdens het spuien waargenomen langs de westelijke lijn langs en in de spuipluim terwijl de vangsten in de fuiken niet in verhouding stonden met de waarnemingen die beroepsvissers deden (pers. comm. gebroeders van Malsen) Grote fint wordt tegenwoordig niet of nauwelijks meer waargenomen door hen.



Figuur 3-7 aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

In april en mei trekt de fint naar het zoetwater-getijdengebied (Aprahamian et al. 2003). De paaimigratie kan drie maanden duren, waarbij de voornaamste trek overdag is. Na de paai trekken de volwassen vissen direct terug naar zee. Juveniele fint bereikt in de zomer of begin herfst het estuarium vanaf de rivier en in de periode juli tot november trekken de vissen naar zee. De vissen trekken naar zee als de watertemperatuur lager dan 19 graden is en bij 9 graden zijn alle vissen vertrokken naar zee. In de rivier de Elbe en Severn verschijnen in de maanden april en mei de juvenielen weer in het estuarium en blijven daar tot oktober.

Migratiegedrag en oriëntatie

Voor zover bekend zijn er geen directe migratie gedragsstudies bekend van de fint in Nederland. Ook het oriëntatie vermogen om de paaigronden moet worden afgeleid uit soortgelijke vissen van hetzelfde geslacht *Alosa*. Zie verder de beschouwing van elft (3.1.5) over studies naar het gedrag van *Alosa sapidissima*, een Amerikaanse fintachtige.

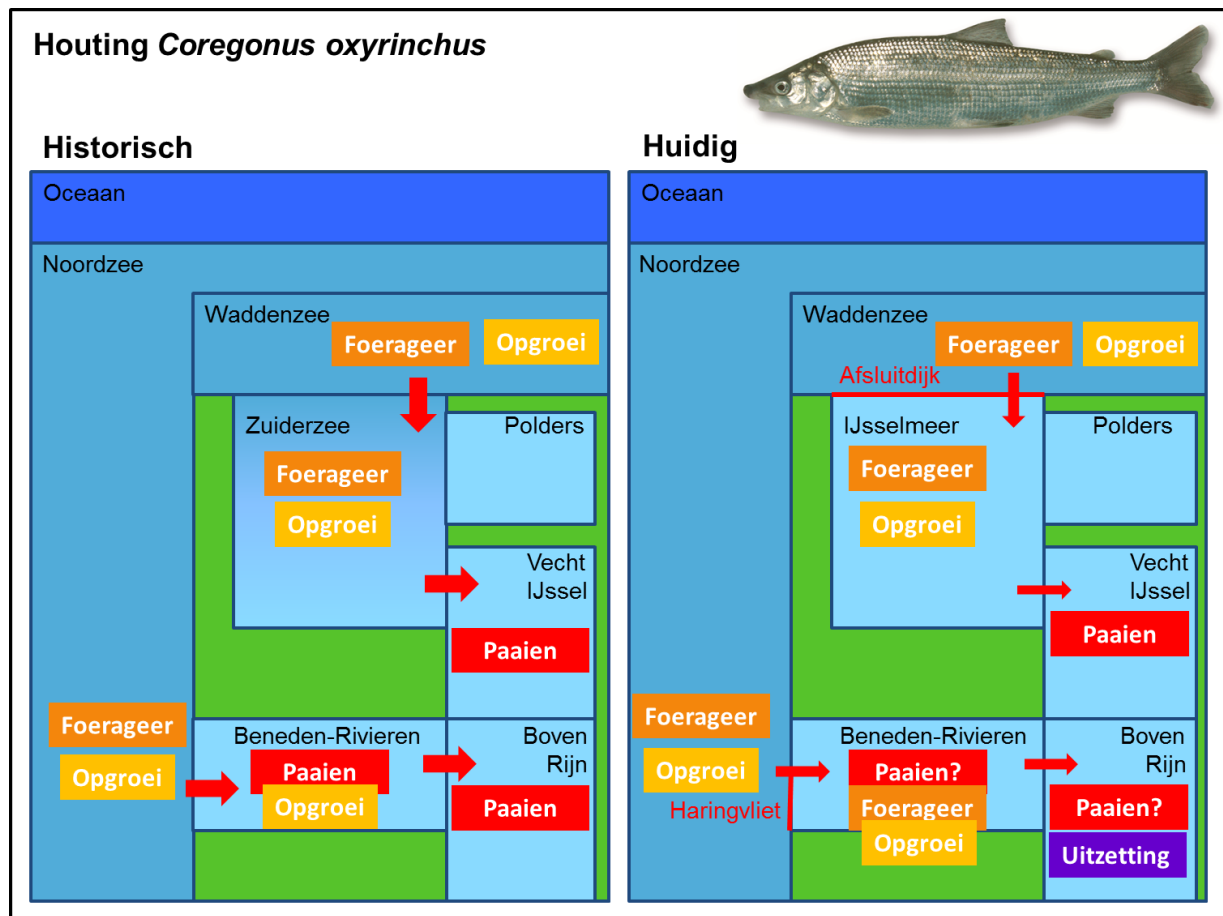
Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Een studie naar American Shad wijst uit dat de duurzweemcapaciteit neerkwam op één lichaamslengte per seconde en de sprintcapaciteit op drie lichaamslengte per seconde (Castro-Santos 2005). In Quak et al. (2012) worden de maximale kruissnelheid U_{crit} ingeschat op 0.43-0.53 m/s voor fint van 5-15 cm. Voor volwassen fint wordt de sprintsnelheid met Sprintfish geschat op ca. 1.9-5.7 m/s.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Studies naar American shad, *Alosa sapidissima*, geven voor *Alosa* soorten aanknopingspunten over noodzaak tot acclimatisatie (zie 3.1.5 beschouwing bij elft).

3.1.8 Houting - *Coregonus oxyrinchus*



Timing van intrek

				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Houting	<i>Coregonus oxyrinchus</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
houting	<i>Coregonus oxyrinchus</i>	11	0.7	20	8	15	2	10	6.9	40	61	51	1.5	2.9	2.2

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

Houting is een anadrome vis die in de loop van de twintigste eeuw uitgestorven is als paaipopulatie in de Nederlandse rivieren. De houting is een endemische soort van de Waddenzee en trekt de rivieren op om te paaieren (Poulsen et al. 2012). De eieren van de houting worden vrij in het water losgelaten en ze plakken vast aan grind en vegetatie (Poulsen et al. 2012). Wanneer houting niet de bovenstroomse delen de rivier kunnen bereiken door bijvoorbeeld obstructies, zijn zij genoodzaakt om beneden in de rivier te paaieren. De larven komen in februari tot maart uit het ei en zijn dan 10 mm groot (Borcharding et al. 2006). De jonge houtingen kunnen langere of kortere tijd in zoet water verblijven, waarna ze naar zee trekken (Borcharding et al. 2008).

Er is debat over de taxonomische status van de Houting. De meest recente studie op basis van genetisch en morfologisch onderzoek naar het *Coregonus lavaretus*-soorten-complex in Noordwest Europa, die de houtingen (met de langste puntige snuiten) en grote marenen (met kortere tot stompe snuiten) omvatten, beschouwen de houting *Coregonus oxyrhynchus* als een aparte soort op basis van morfologie en de aanpassing aan het kunnen leven in 35 ‰ zeewater wat uniek is binnen de coregoniden (Hansen et al. 2008), al is de genetische scheiding van zeer recente oorsprong en erkennen de auteurs dat daarmee de soortstatus controversieel is. De restpopulatie van houting in de Deense Waddenzee in de Vidå rivier onderscheidt zich, op basis van snuitlengte en de ecologische eigenschap dat volledig zoutwater van 35 ‰ ook als habitat kan worden benut, van andere houtingachtigen in Denemarken en de Oostzee die zoutgehalten tot maximaal ongeveer 15 ‰ kunnen tolereren (Hansen et al. 2008). Freyhof en Schöter (2005) hebben morfologisch onderzoek uitgevoerd naar museum-exemplaren van houting uit de benedenstroomse delen van de Rijn, Maas en Schelde in vergelijking met de huidige Deense populatie van houting en andere marenepopulaties rond Denemarken en de westelijke Oostzee. Op basis van verschil in het aantal kieuwboogaanhangsels tussen de houting van het Rijn-Maas-Scheldestroomgebied en van de Vidå claimen zij dat de uitgestorven houtingpopulatie in Nederland en België een andere soort is dan de houting van Denemarken. Hansen et al. (2008) stellen dat je op basis van enkel een verschil in kieuwboogaanhangsels niet kunt concluderen dat het dan een aparte soort is, onder andere omdat het aantal kieuwboogaanhangsels zeer variabel is in nauwverwante groepen binnen het *C. lavaretus*-complex en geen relatie toont met de genetische lijn waar populaties van afstammen en de morfologische plasticiteit binnen een coregonide soort erg groot is. Momenteel is er nog geen genetisch onderzoek beschikbaar van de verdwenen houtingpopulatie uit de Rijn, Maas en Schelde. De museumexemplaren die Freyhof en Schöter (2005) onderzochten waren gefixeerd in formaline en daarmee ongeschikt voor genetisch onderzoek. Op dit moment is de mate van uitwisseling en verwantschap tussen de oorspronkelijke 'Noordzee houting' populatie van de Rijn, Maas en Schelde en de huidige 'Noordzee houting' populatie in Denemarken onbekend en lijkt de aparte soortstatus voor de Rijn-Maas-Schelde houting vooralsnog niet meer dan een interessante hypothese.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

In het verleden is de houting uitgestorven door het afsluiten van de Zuiderzee, vervuiling, visserij en het verdwijnen van paaiplekken (Poulsen et al. 2012). Welke habitats in de benedenlopen, estuaria en kustgebieden belangrijk zijn (geweest) voor de opgroei van jonge houting tot volwassen stadia is niet goed bekend. Van Bemmelen (1866) noemt dat de houting in het najaar en het begin van de winter zeer algemeen voorkwam in de Zeeuwse stromen, de meeste Nederlandse rivieren en de Zuiderzee. In de overige tijd van het jaar werd de houting in 'meer of minder' groot aantal langs de Nederlandse kusten aangetroffen.

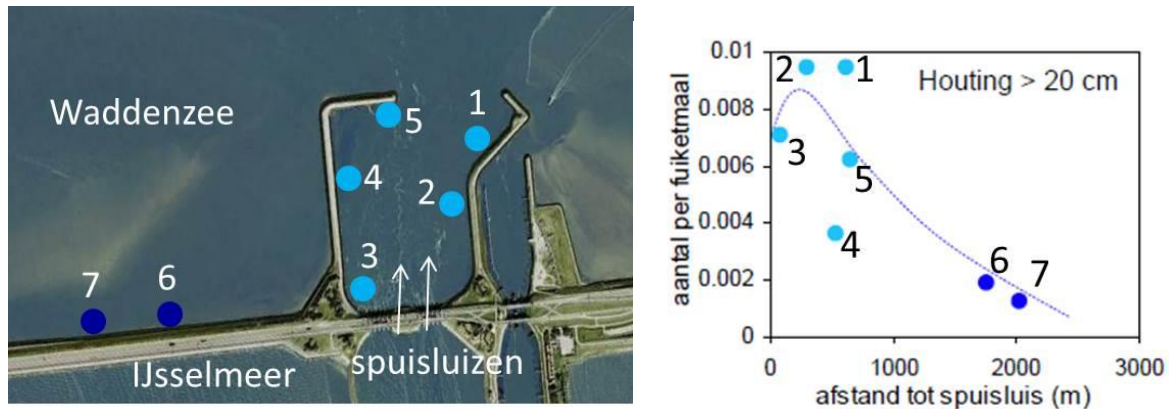
Van 1987 tot 1992 zijn houtingen uitgezet in het Deense Waddengebied (Jepsen et al. 2012) en sinds begin jaren negentig worden houtingen massaal uitgezet in de Rijn en bij het zijriviertje de Lippe (Kranenbarg et al. 2002). Het IJsselmeer blijkt nu een belangrijk leefgebied voor de succesvol uitgezette houting (Borcherding et al. 2008). Het hele jaar door worden hier houtingen van verschillende leeftijdsklassen aangetroffen. Onderzoek met Nedap-transponders laat zien dat een belangrijk deel van de volwassen houting-populatie in de paaiperiode november-december van het IJsselmeer de IJssel optrekt en na de paai weer terugkeert naar het IJsselmeer (Borcherding et al. 2014). Slechts een klein deel trekt verder dan de IJssel en trekt door naar het Duitse deel van het Rijnstroomgebied of naar de benedenrivieren. Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor houting is groot, echter een deel van de houting-populatie lijkt niet te migreren tussen de Waddenzee en het IJsselmeer. Uit analyses van otolieten bleek dat een deel van de houting-populatie het IJsselmeer als foerageergebied gebruiken en niet naar zee trekt (Winter et al. 2008, Borcherding et al. 2008).

De soort plant zich voor in de zoete beneden delen van de rivier. Voor houting blijft het wel van belang dat deze de rivier op kunnen trekken tot de paaigronden. De IJssel lijkt een belangrijke paaigebied voor de houting die langs de Afsluitdijk en vanaf het IJsselmeer trekt (Borcherding et al. 2014).

Houtingen kwamen oorspronkelijk voor in de stroomgebieden die uitmonden in de Waddenzee, de Rijn-Maas en Schelde stroomgebieden en wellicht ook in zuidoostelijk Engeland, al is dat laatste niet zeker (Freyhof & Schöter, 2005). In de loop van de 20ste eeuw zijn houtingen vrijwel overal verdwenen, met uitzondering van de Vidå, waar een kleine populatie van enkele duizenden volwassen houting zich heeft kunnen handhaven. In enkele kleine riviertjes ten noorden van de Vidå wordt, zij het op zeer geringe schaal, ook af en toe natuurlijke paai waargenomen. Door uitzettingen vanaf midden jaren tachtig komen houtingen nu voor in meerdere stroomgebieden die uitmonden in de Waddenzee (bijvoorbeeld Sleeswijk-Holstein en het Rijnstroomgebied). De verspreiding van houtingen via mariene habitats lijkt zeer gering, gezien het beperkte voorkomen en de afwezigheid van dwaalgasten vanuit Denemarken in gebieden waar houtingen als paaipopulaties zijn uitgestorven.

Tenminste een deel van de huidige houting populatie lijkt voornamelijk gebruik te maken van het IJsselmeer als leefgebied (Winter et al. 2008, Borcharding et al. 2008). Onlangs bleek uit analyses van 55 jonge houtingen uit het IJsselmeer dat het grootste deel van natuurlijke aanwas komt (alle uitgezette jonge houtingen zijn van een chemisch merk voorzien en kunnen door analyse in het laboratorium worden onderscheiden van natuurlijke reproductie, Borcharding et al. 2010); slechts één van de 25 betrof een uitgezet exemplaar. Er is weer een natuurlijk reproducerende populatie in het stroomgebied van de Afsluitdijk, IJsselmeer, die meest waarschijnlijk in de IJssel paait en nauwelijks verder stroomopwaarts in de Rijn trekt (Borcharding et al. 2014). Slechts een deel van houting maakt gebruik van mariene leefgebieden in de Waddenzee. Dat de Afsluitdijk hierin belemmerend werkt lijkt waarschijnlijk (Borcharding et al. 2008).

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES zijn de vangsten voor grote houting beperkt. De houting die gevangen wordt vooral gevangen bij de fuiken 1, 2, 3 en 5 (Figuur 3-8).



Figuur 3-8. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

Volwassen houting trekt vanuit estuaria en de kustzone rivieren in om op zoet stromend water te paaien. De paaiplaatsen in Denemarken zijn gelegen in de beneden- en midden-lopen met kiezel en groenblijvende watervegetatie (Jensen et al. 2003) waaraan de klevende eieren zich hechten. De paai in Denemarken vindt plaats gedurende november-december. Historische bronnen in Nederland noemen het najaar en midden oktober tot midden december (Schlegel 1862, en Aalderink 1911 in Quak et al. 2012) als paaiperiode. De optrek kon soms al geruime tijd daarvoor beginnen en houting trok niet ver de rivieren op. Zoals bij veel soorten blijven de mannetjes langer op de paaiplaatsen aanwezig. De stroomafwaartse migratie van volwassen houting in Denemarken naar de habitats in de Waddenzee vindt in het vroege voorjaar tot mei plaats (Jensen et al. 2003). Houtingen kunnen meerdere jaren achtereen paaien (Jepsen et al. 2012). In een recente telemetrische studie trekken gezenderde houtingen met

name rond november vanuit het IJsselmeer de IJssel op om rond december te paaïen in het stroomgebied van de IJssel, slechts een zeer klein aantal trok verder stroomopwaarts, en vervolgens in december en januari weer naar het IJsselmeer terug te keren (Borcherding et al. 2014).

Migratiegedrag en oriëntatie

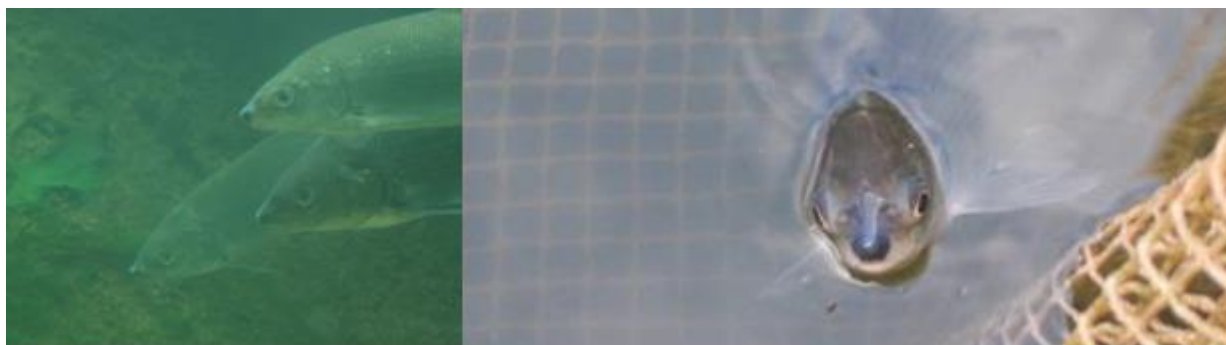
Houting in enkele kleine Deense riviertjes, waaronder de Vida, trekken vanuit de Waddenzee op om te paaïen en daarna weer naar de Waddenzee terug te keren (Jepsen et al. 2012). Er zijn verder nauwelijks studies gedaan naar de houting en andere *Coregonus* soorten (grote en kleine marene) over het gedrag van de dieren. Wel is er een telemetrische studie gedaan naar *Coregonus clupeaformis* een grote houtingachtige in Canada gedurende twee paaiseizoenen (Anras 1999), maar deze studie gaat niet in op het gedrag van de dieren en het oriëntatie vermogen. Een andere studie over grote marene in Lake Constance laat zien dat ze gedurende het paaiseizoen een verticale migratie lieten zien die omhoog gericht is overdag en naar beneden gedurende de nacht (Eckmann 1991). Dit laatste werd ook gezien bij de studie in Canada (Anras 1999). Een studie uit 1981 naar *Coregonus artedii* en *Coregonus clupeaformis* laat zien dat zowel de larven en de juvenielen zich vanaf het voorjaar richting het estuarium en de zee begeven. De subadulten zwemmen het estuarium weer op in de herfst, maar dalen weer af in de lente en groeien verder weer op zee op. Uiteindelijk paaïen ze de volgende herfst op de rivieren als adulten en dalen de rivier weer af in de winter en de lente (Morin et al. 1981). Er zijn geen bewijzen dat houting sterke *homing* vertoont (Morin et al. 1981). Wel wordt in recentere studie aangetoond dat grote marene naar dezelfde plek terugkeren om te paaïen (Huuskonen, 2012) wat ook werd gezien in Canada bij *Coregonus clupeaformis* (Anras, 1999), maar ze toonden meer trouw aan een specifiek habitat dan een geografische plek (Anras, 1999). Gezien het langdurig beperkt voorkomen van de houting in de noordelijke Waddenzee rond de rivier Vida, en het ontbreken van waarnemingen in andere rivieren in het Waddenzee gebied waar de houting in de eerste helft van de twintigste eeuw is verdwenen, laat zien dat houting weinig dispersie op zee laat zien. De kans op herkolonisatie van andere rivieren werd daarom als klein ingeschat, waardoor besloten is om in de Duitse Rijn een herintroductieprogramma te starten (Borcherding et al. 2008, - 2010).

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

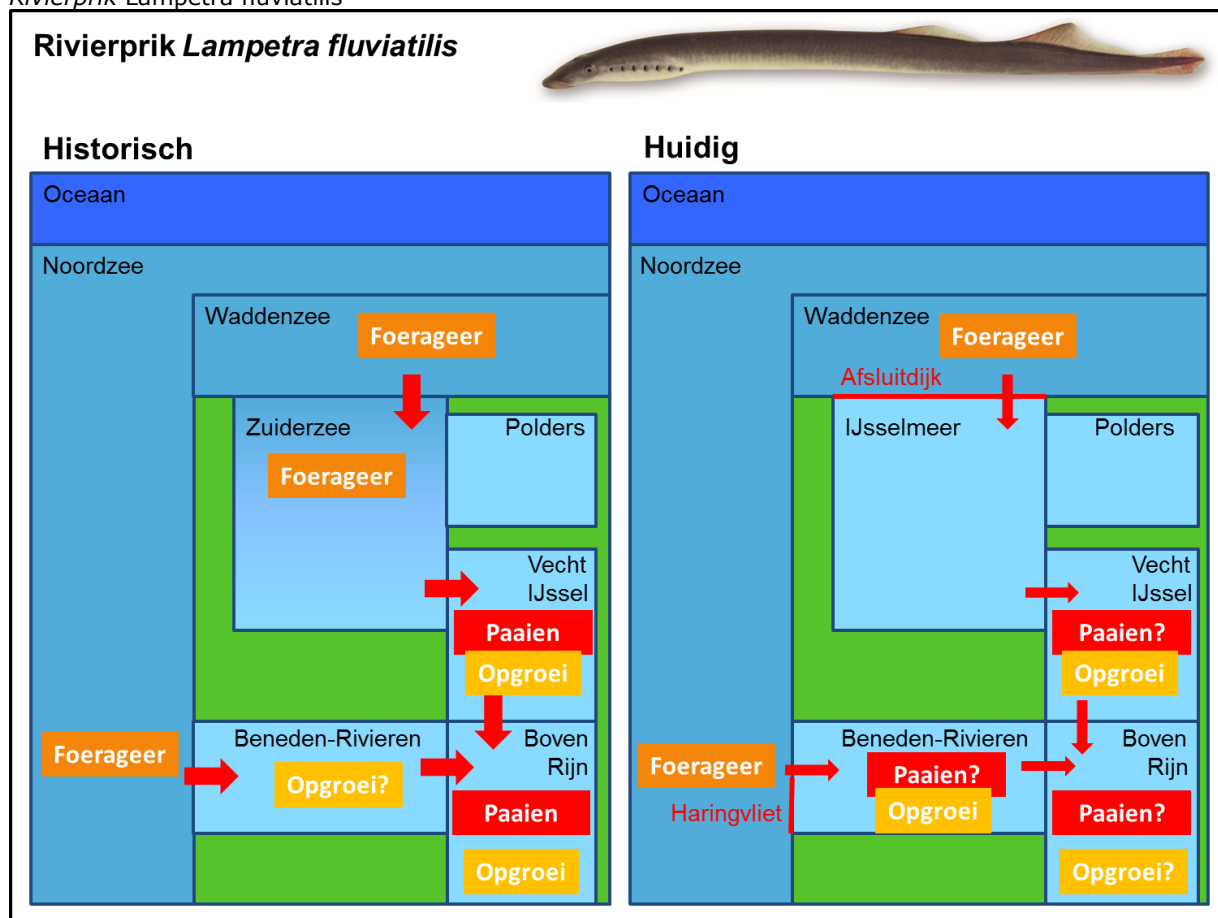
Met behulp van Sprintfish wordt een sprintsnelheid van 1.5-2.9 m/s ingeschat voor volwassen houting. Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.34-0.71 m/s voor houting van 6-48 cm.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Evenals over het migratiegedrag en oriëntatie vermogen is er geen literatuur gevonden over het acclimatisatievermogen of het belang van een specifiek habitat daarvoor. Wel tonen houting een hoge vorm van plasticiteit en tonen de 12 *Coregonus* soorten aan dat ze over een breed habitat spectrum kunnen voorkomen en daarnaast zich aanpassen aan nieuwe situaties door niet trekkende en anadrome vormen aan te nemen (Huuskonen 2012). Ook is bekend dat jonge houting maanden voor de stroomafwaartse migratie zichzelf aanpassen aan een zoute omgeving (Leguen et al. 2007).



Houtingen hebben een karakteristieke blauwzwarte puntneus (foto's Joep de Leeuw)

**Timing van intrek**

Timing van intrek															
				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Rivierprik	<i>Lampetra fluviatilis</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2003)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
rivierprik	<i>Lampetra fluviatilis</i>	12	0.5	15	7	15	16	6	3.8	33	42	38	0.7	1.0	0.8

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

Rivierprik is taxonomisch gezien geen vissoort, maar behoort tot de orde der rondbekken (Agnatha). Rivierprik wordt vaak meegenomen in beschouwingen over vis, mede vanwege hun anadrome levenscyclus en visachtige voorkomen. Volwassen rivierprikken trekken na enkele jaren op zee de rivieren op, naar hoger stroomopwaarts gelegen paaigebieden. In tegenstelling tot veel anadrome soorten vertonen prikken geen homing naar de geboorterivier (Bergstedt & Seelye 1995). De prikken sterven na de paai. De jonge prikken (zogenoemde ammocoeten) verblijven enige jaren als filterfeeder in de waterbodem van rivieren en trekken bij een lengte van ongeveer 12-14 cm naar zee om als parasiet op andere vissen te leven, hoewel ook op kleinere vis als haring en sprot wordt gepredeerd, totdat ze volgroeid zijn (ongeveer 30-40 cm). Over de leefwijze en verspreiding tijdens de zeefase is zeer weinig bekend.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

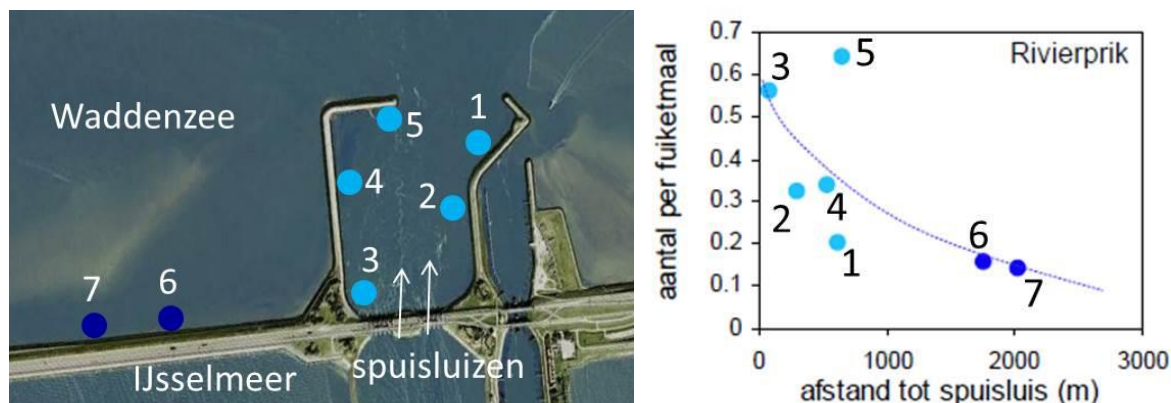
Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor rivierprik is groot. Voor de soort is het van belang dat deze de rivier op kunnen trekken tot de paaigronden. Rivierprikken worden slechts incidenteel op de Noordzee aangetroffen in monitoringen. In de Noordzee-kustzone, de Waddenzee en op de overgang van zout naar zoet water, zoals het Schelde-estuarium, zijn de aantallen groter. Dit verschil is zeer waarschijnlijk beïnvloed door het trekgedrag in relatie tot de voortplanting en de grotere monsterinspanning in de kustzone en het trekgedrag in relatie tot de voortplanting. In de Nederlandse Waddenzee komen rivierprikken meer voor dan langs de kustzone (Mulder 2011). In het stroomgebied van de Eems trekken 10.000en volwassen rivierprikken op (Scholle et al. 2012, eV SW-E 2011, - 2012).

Op dit moment zijn enkele plaatsen in Nederland bekend waar de rivierprik met zekerheid paait: waaronder de Roer in Limburg, het Keersop in Noord-Brabant en het Gasterensche Diep in Drenthe (Winter & Griffioen 2007). Waarschijnlijk zijn er meer paaiplaatsen in ons land, bijvoorbeeld in de hoofdstroom van de Waal en de Maas. Het lijkt er op dat in beken de larven (ammocoeten) binnen enkele honderden meters stroomafwaarts van de paaiplaatsen opgroeien (Winter & Griffioen 2007).

Tot 2009 werd binnen de MWTL vismonitoring die IMARES uitvoert in opdracht van de Waterdienst op een dertigtal plaatsen fuikvangsten bijgehouden gedurende het visseizoen lopend van april/mei-oktober/november. Jaarlijks werden enkele honderden tot enkele duizenden volwassen rivierprikken geregistreerd. In 2009 is echter het Aalherstelplan in werking gesteld, waarbij niet meer gevisht mocht worden met aalvangstuigen in oktober en november en vanaf 2010 is ook september gesloten voor aalvangstuigen. In 2011 zijn vervolgens 19 gebieden binnen deze monitoring afgefallen wegens de dioxineproblematiek. Om deze reden is in 2012 een schieraalmonitoring opgezet waarbij op zeven locaties in Nederland de uittrek van schieraal in september-november gevolgd wordt met fuikvangsten. Op twee van deze locaties, Kornwerderzand en het Haringvliet, is in december 2012 als proef verder gevisht voor rivierprikintrek monitoring (Griffioen & Kuijs 2013). De rivierprik wordt momenteel op in alle grote stromende wateren van Nederland waargenomen.

Een zenderstudie naar migratiegedrag van rivierprik in de paaiplaatsen in de Drentsche Aa toont dat de paaiplaats worden bereikt door optrek via het Eemskanaal, waarbij relatief hoge migratiesnelheden gevonden zijn (0.1 – 0.3 m/s over 52 km) (Winter et al. 2013).

Waarnemingen van beroepsvissers geven aan dat jonge uittrekkende rivierprik worden gevangen bij de spuikom van Kornwerderzand (pers. comm. van Malsen), wat zou kunnen wijzen op paaigronden van wateren die uitmonden in het IJsselmeer. In de Overijsselse Vecht zijn ook rivierprikken waargenomen (Winter, 2007). Rivierprik dringt niet ver het Rijn-stroomgebied in en lijkt met name in de benedenstroomse delen en zijbeken te blijven hangen om te paaien.



Figuur 3-9. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES worden de meeste rivierprikken gevangen in de fuiken met nummer 3 en 5 (Figuur 3-9). Rivierprik worden ook gevangen in de diepere put vlak voor de deuren van de spuisluisen (Persoonlijke toelichting van de gebroeders van Malsen en ongepubliceerde resultaten Griffioen en Winter).

Timing van migratie

Volwassen rivierprikken trekken na enkele jaren op zee gedurende het najaar tot het vroege voorjaar de rivieren op, naar hoger stroomopwaarts gelegen paaigebieden. Veelal vindt de piek van de intrek plaats in december en of januari (Griffioen & Kuijs 2013b). Omdat rivierprikken in een periode migreren dat er vrijwel geen monitoringen, onderzoeken of commerciële fuikenvisserij plaats vindt, is de exacte timing gedurende het winterhalfjaar slecht bekend. Prikken migreren voornamelijk in de nacht (Kelly & King 2001, Kemp et al. 2011, Keefer et al. 2013).

Migratiegedrag en oriëntatie

Prikken oriënteren zich aan de hand van geurstoffen (feromonen) van larven die zich in een geschikt opgroei-habitat hebben gesetteld (o.a. Gaudron & Lucas 2006, Vrieze et al. 2010, Vrieze et al. 2011). De larven, ammocoeten, scheiden een feromoon dat voor de intrekkende volwassen prikken een teken is dat er verderop geschikt paai- en opgroei-gebied is. Hoe detecteerbaar deze feromonen zijn op grotere schaal en hoelang deze feromonen detecteerbaar blijven voor vis in de Waddenzee is onbekend. Telemetrische experimenten met rivierprikken in het Drentsche Aa gebied vanuit de Eems Dollard suggereren dat prikken gericht op hun doel, de paaigronden, afgaan en daarbij zijstromen waar geen larven in leven negeren (Winter et al 2013). Wel vertonen de dieren grote individuele variatie en het lijkt er op dat veel rivierprikken weer terugkeren naar zee, mogelijk door de onnatuurlijke situatie in de kanalen waarin het water zowel stagnant als stromend kan zijn en waar de feromonen mogelijk minder goed detecteerbaar zijn (Winter et al 2013).

Tijdens merk terug vangst experimenten in de spuikom van Kornwerderzand uitgevoerd door IMARES en de gebr. van Malsen (WON1) zijn op het moment van schrijven 223 prikken voorzien van een 12mm PIT TAG. Van deze dieren zijn er in de periode december 2013 en januari 2014 drie terug gevangen. Twee van de drie dieren die zijn terug gevangen zijn middels kuilbemonsteringen in de diepe put (max 30m diep) voor de spuisluisen gevangen en terug gezet in de 'haven' bij de aanleg plaats van de WON1. Deze twee dieren zijn binnen enkele dagen weer terug gevangen in de diepe put voor de spuisluisen. Dit geeft aan dat een deel van de prikken op grotere schaal zoek bij het complex. (ongepub. resultaten Griffioen)

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Omdat prikken geen borstvinnen hebben zoals paling dat bijvoorbeeld wel heeft, zijn zij minder stabiel in hydraulisch complexere situaties. Experimenten met rivierprikken bij stuwen lieten zien dat rivierprikken hun bek kunnen gebruiken om tijdelijk te rusten tijdens het passeren van de barrières (Kemp et al. 2011). Het gebruik van de bek om positie te houden werd groter naarmate het debiet groter werd, hiermee werd het aantal pogingen om een passage te passeren ook gereduceerd. Echter de verhouding tussen het aantal pogingen en het succes van passeren wordt hierdoor beïnvloed bij prikken. Waar andere vissen bij suboptimale omstandigheden meerdere pogingen kunnen doen om een passage te passeren kunnen prikken de efficiëntie van de passage sterk vergroten door bij suboptimale omstandigheden minder pogingen te doen maar tussendoor te rusten met behulp van hun zuigbek. Hierdoor zijn prikken met minder pogingen in staat efficiënt te passeren bij grotere stroomsnelheden. Prikken hebben de neiging om langs de muren en de bodem te migreren, hier zijn de stroomsnelheden mogelijk lager en hebben ze de mogelijkheid om zich vast te zuigen (Kemp et al. 2011, Russon et al. 2011). Prikken lijken minder succesvol te passeren bij barrières bij stroomsnelheden van 1.5m/s, hoewel sommige kunnen passeren bij 1.7 m/s (Kemp et al. 2011). Andere studies laten passage met stroomsnelheden van 1.1 – 1.3 m/s (Laine et al. 1998a) en zelfs 1.75 – 2.12 m/s zien (Russon & Kemp 2011).

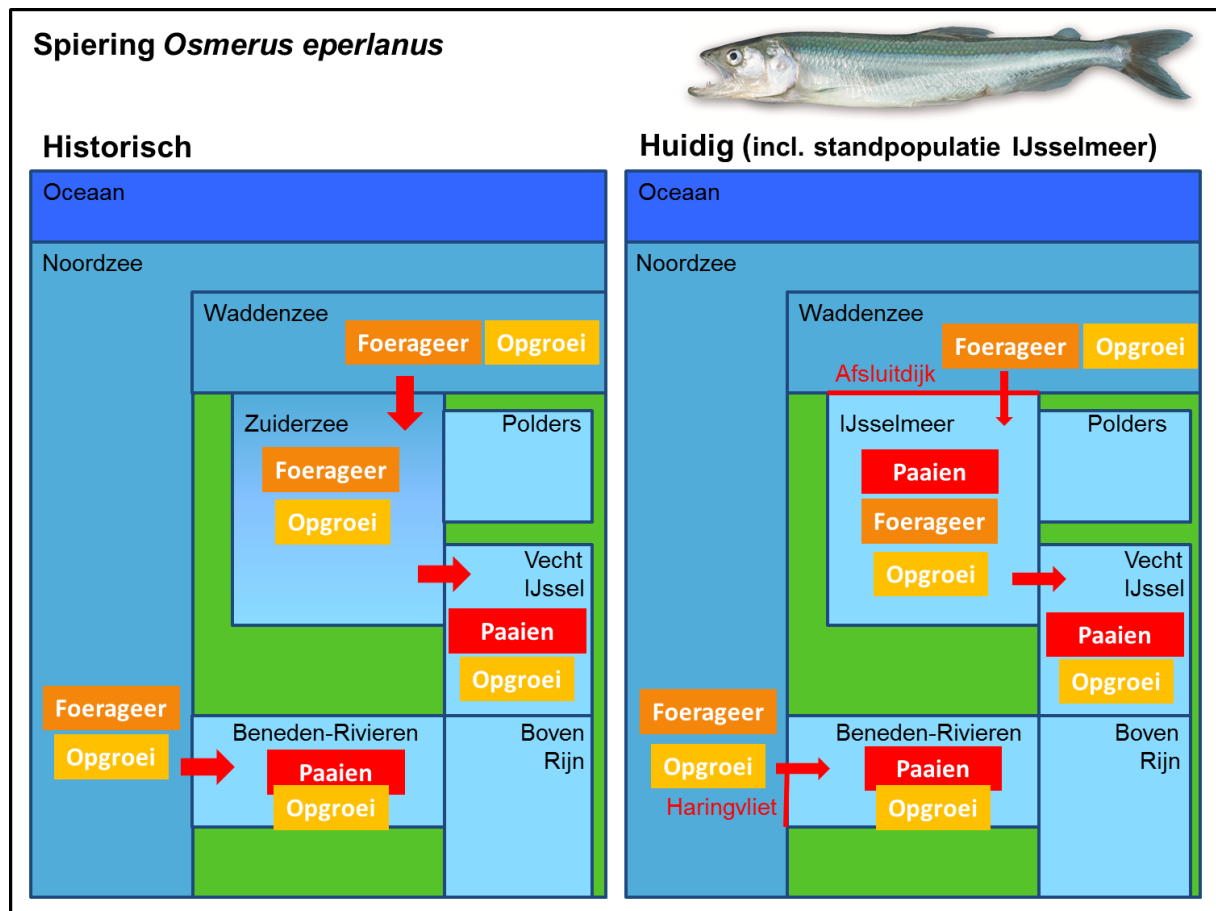
Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Het belang van een specifiek habitat voor een acclimatisatie waarvan rivierprik gebruik van zou kunnen maken is onbekend. Wel trekken prikken tot diep in het zoetwatersysteem en kunnen hier bijvoorbeeld in de Drentsche Aa al in enkele dagen arriveren vanuit het zoute water (Winter et al. 2013). De Noord-Amerikaanse prik-expert Mary Moser bevestigde dat er over duur en noodzaak van acclimatisatie van prikken bij het passeren van zout-zoet overgangen geen informatie voorhanden is.



Priklarven leven 3-4 jaar ingegraven in slibrijke bodems van beken en middenlopen van rivieren (foto Erwin Winter)

3.1.9 Spiering *Osmerus eperlanus*



Timing van intrek

				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Spiering	<i>Osmerus eperlanus</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
spiering	<i>Osmerus eperlanus</i>	3-4	0.7	20	8	15	15	115	6.8	15	25	20	0.7	2.2	1.3

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

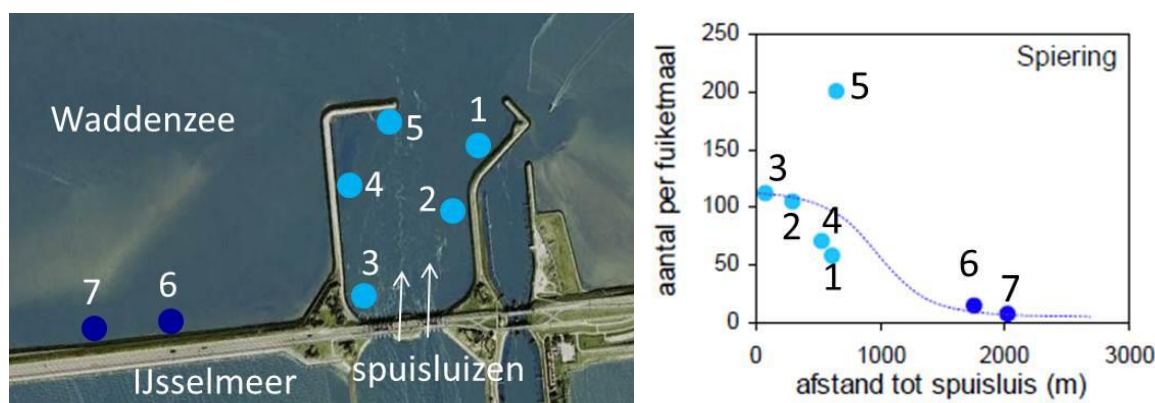
Spiering kan verschillende 'life-history' strategieën vertonen. De trekkende variant (anadroom) die tot 25 cm groot wordt, was in de Zuiderzee voor de afdamming met de Afsluitdijk zeer talrijk (De Groot 1991, - 2002). Daarnaast komt de soort ook voor als zoetwaterstandvis die kleiner blijft en al na een jaar paairijp is. Deze variant komt sinds de afsluiting op het IJsselmeer voor als standpopulatie. Uit analyses blijkt dat er waarschijnlijk geen of een beperkte bijdrage is van anadrome spiering aan de spiering populatie in het IJsselmeer (Tulp et al. 2013). Het blijft echter onduidelijk of een klein aantal grotere diadrome individuen een disproportionele bijdrage hebben aan de paai in het IJsselmeer (Tulp et al. 2013). Dat spiering wel naar binnen trekt blijkt uit visintrek onderzoeken door Witteveen en Bos (Witteveen+Bos 2009a) en informatie van beroepsvissers. Maar in hoeverre dit grotendeels spiering is die na uitspoeling terug wil of dat dit een diadrome vorm is, is minder goed bekend. Een deel van de spiering aan de buitenzijde

hebben formaten > 20 cm die niet passen bij 'binnenspiering' en betrekking zullen hebben op anadrome spiering. Spiering is een prooidier voor zowel visetende vogels als piscivore vis.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Voor de trekkende variant is de migratie tussen zoet en zout water van groot belang, voor de zoetwaterstandvis van geen belang. Echter is er tot op heden nog geen bewijs dat de anadrome variant een bijdrage levert aan de spieringpopulatie op het IJsselmeer (Tulp et al. 2013).

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES worden de meeste spiering gevangen in de fuiken met nummer 5 (Figuur 3-10). Spiering worden ook gevangen in de diepere put vlak voor de deuren van de spuisluizen en in een put ten noorden van fuik nummer 5 (pers. comm. van de gebroeders van Malsen). Het is onduidelijk of het hier spiering betreft die ook echt gemotiveerd is om naar binnen te trekken.



Figuur 3-10. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

De anadrome variant paait evenals de standpopulatie spiering in het vroege voorjaar (maart-april) in zoetwater, bij voorkeur in stromende gedeelten op stevige ondergrond dichtbij riviermondingen (de Groot 1991) en op oevers met hard substraat zoals stortsteen. De paai-intrek gebeurt in een relatief korte periode bij een watertemperatuur van 9 á 10 graden meestal eind maart (20 – 25 maart, pers. comm. gebr. van Malsen). De spiering komt met afgaand tij richting de spuideuren en de scheepvaartsluizen om het IJsselmeer binnen te zwemmen (pers. comm. gebr. van Malsen en G. Manshanden). De timing van de migratie is echter wel afhankelijk van de winter, bij een zachte winter kunnen ze al begin maart en soms al eind februari komen. (pers. comm. gebr. van Malsen). Spiering lijkt op diverse plekken in en om de spuikom zich te concentreren (pers. comm. gebr. van Malsen).

Migratiegedrag en oriëntatie

Tijdens visintrek monitoring door Witteveen + Bos (2009a) zijn grote hoeveelheden spiering gevangen in de netten in het IJsselmeer. Deze spiering kwam binnen doordat er gesloten werd met de spuideuren. De auteurs vragen zich echter af in hoeverre de binnengekomen spiering er met een volgende spui weer wordt uitgespoeld richting de Waddenzee. Volgens diverse beroepsvissers liggen er veel spiering 'te wachten' in de spuikom op grotere diepte in de spuikom aan de Waddenzeezijde en voor de scheepvaartsluis. Ze zouden zich met afgaand tij richting de deuren begeven om zich richting het IJsselmeer te verplaatsen. Deze bewegingen waren zo voorspelbaar dat de beroepsvissers hun visserijactiviteiten hier precies op konden afstemmen. Ook trekken de meeste spiering in de nacht richting het IJsselmeer en worden ze gezien aan de oppervlakte (pers. comm. gebr. van Malsen). Met sonar experimenten werd veel vis, waaronder waarschijnlijk spiering, aan het begin van de spuiperiode waargenomen die richting het IJsselmeer migreerde (Witteveen+Bos 2009a). In de netten werden met

name driedoornige stekelbaars en spiering gevangen. De auteurs geven aan dat op deze momenten aan het begin van een spuiperiode de vissen nog actief tegen de stroming inzwemmen.

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Met behulp van Sprintfish wordt een sprintsnelheid van 0.7-2.2 m/s ingeschat voor volwassen spiering van 15-25 cm. Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.30-0.46 m/s voor spiering van 7-16 cm.

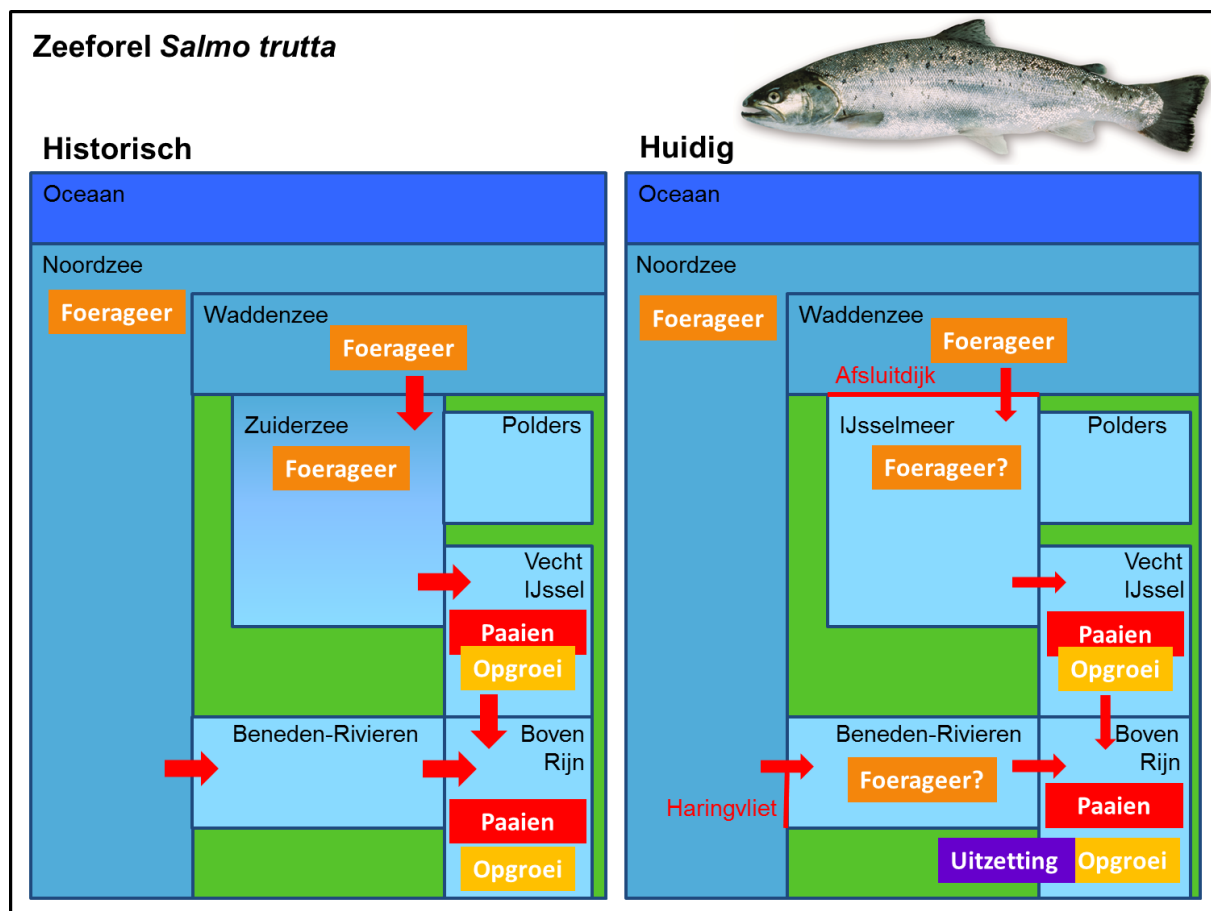
Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Of de anadrome vorm een acclimatisatie zone nodig heeft in de vorm van een langzame zoet-zout gradiënt is onbekend. Wel worden er in de literatuur indicaties gegeven dat spiering die het IJsselmeer is binnengetrokken er met een volgende spui wordt uitgespoeld. Dit zou veroorzaakt worden omdat zij zouden moeten wennen aan het zoete water en daarom dichtbij de spuideuren verblijven na de intrek (Witteveen+Bos, 2009a). Echter geven de auteurs zelf aan dat dit een suggestie is en niet is onderzocht.



In de spuikom worden vaak grote aantallen spiering gevangen binnen IMARES onderzoek i.s.m. de gebroeders van Malsen (foto Ingrid Tulp)

3.1.10 Zeeforel *Salmo trutta*



Timing van intrek

Timing van intrek															
				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Zeeforel	<i>Salmo trutta</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
zeeforel	<i>Salmo trutta trutta</i>	6-11	0.7	25	9	15	2	23	14.6	50	100	75	2.0	8.6	5.1

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

Ecologische schets van de soort

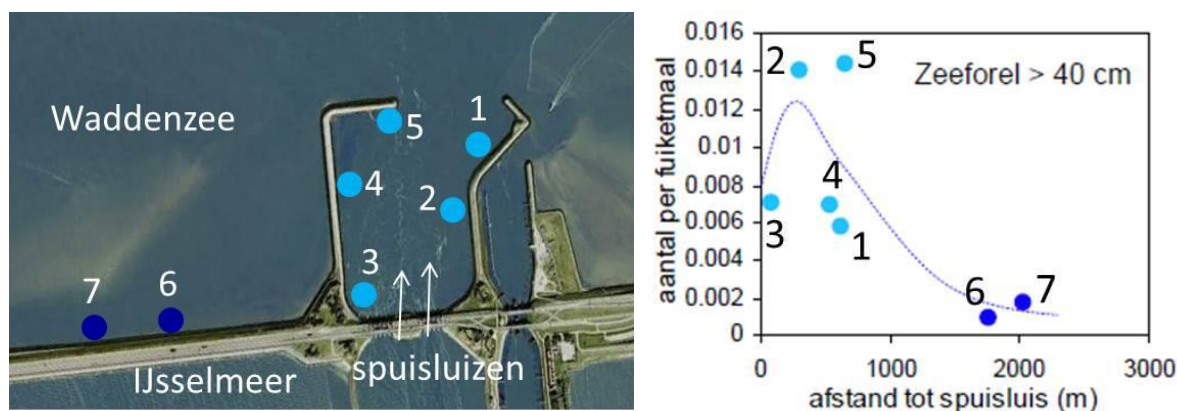
Forel kent verschillende 'life-history' strategieën binnen dezelfde populatie, waarvan de één permanent op de rivieren verblijft (residente strategie, verschijningsvorm 'beekforel') en de ander naar zee trekt (migrerende strategie, verschijningsvorm 'zeeforel'). Elk individu kan zich afhankelijk van de opgroeiomstandigheden ontwikkelen tot één van beide verschijningsvormen. Er is dus geen sprake van twee verschillende ondersoorten of subpopulaties per rivier zoals nog vaak wordt aangegeven. In de monitoring programma's worden af en toe forellen gevangen die veel uiterlijke kenmerken van de beekforel hebben. Omdat de vissen bij de Afsluitdijk migrerende individuen zijn van de verschijningsvorm zeeforel, is deze soort in deze rapportage verder als zeeforel aangeduid. Jonge zeeforel trekt, evenals zalm, na één tot drie jaar in de rivieren te hebben geleefd in het voorjaar naar zee, om vervolgens na enkele jaren als volwassen vis weer terug te keren naar de rivieren (Jonsson & Jonsson 2002). In

tegenstelling tot zalm verblijft zeeforel in zeeën en kustwateren in de buurt van hun geboorterivier en kan ook tussentijds wel in enige mate het zoete water intrekken. De paaigebieden van zeeforel en zalm kunnen overlappen, waarbij zalm paait op ondiepere en sneller stromende gedeeltes. De pre-smolts verlaten na 1 tot 6 jaar het zoete water in het voorjaar en groeien op in het estuarium of de zee. Na 1 tot 3 jaar op zee te zijn geweest trekken de zeeforellen de rivier weer op in de vroege winter. Na de paai sterft een deel van de ouderdieren, terwijl een deel weer teruggaat naar zee om op een later moment nogmaals aan de paai mee te doen.

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor zeeforel is groot. Zeeforel plant zich voor in de bovenstroomse gedeeltes van het Rijngebied en in de bovenstroomse delen van de Vecht (dit lijkt momenteel slechts een kleine populatie, Winter 2007). Voor de soort is het van belang dat deze de rivier op kunnen trekken tot de paaigronden. De Afsluitdijk vormt een barrière tussen de zee en het bereiken van de paaigronden in de Overijsselse vecht. Doordat sommige individuen op de rivier blijven als beekforel en dat deze eigenschap zich kan ontwikkelen bij het opgroeien, doet de soort aan een vorm van risicospreiding die de populatie in stand kan houden (Gosset et al. 2006, Lucas & Baras 2001). In hoeverre de Afsluitdijk een barrièrebarrière vormt voor zeeforellen was onderwerp van onderzoek dat in 2003 is gepubliceerd. Hierbij is de migratie van zeeforel vanuit zee richting de zoete wateren bestudeerd met behulp van NEDAP-telemetrie. Op een vijf tal plekken zijn zeeforellen van een zender voorzien, waaronder ook bij de Afsluitdijk bij Den Oever en Kornwerderzand (De Vaate et al. 2003). In totaal zijn er over de jaren 1996–2000 582 zeeforellen van een zender voorzien (NEDAP), waarvan 9 bij Den Oever en 61 bij Kornwerderzand. Gedurende deze jaren was er een spuibeheer waarbij de stroomsnelheid in de spuiokers werd geremd ten behoeve van de vismigratie (Tabel 1). 33 zeeforellen van deze 70 zijn in het IJsselmeer waargenomen en één is gezien bij het Haringvliet terwijl deze bij de Afsluitdijk van een zender was voorzien. Het feit dat andere gezenderde zeeforellen terug zijn gevonden in andere delen van Europa, zoals Frankrijk en Noorwegen (De Vaate et al. 2003) kan erop wijzen dat niet alle zeeforellen die bij de Nederlandse kust worden gezien ook daadwerkelijk in Nederland willen binnentrekken. Van de dieren die het IJsselmeer waren binnentrokken zijn er 25 (74%) gezien bij Kampen en 20 (59%) in de beneden Rijn. Deze hoge succesvolle passages door het IJsselmeer heen duidt er op dat de zeeforellen relatief goed in staat zijn om de toentertijd veelvuldig aanwezige aalfuiken te ontwijken.

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES worden er weinig zeeforellen gevangen (Figuur 3-11). De zeeforellen die gevangen worden, zijn het meest gevangen in de fuiken met nummer 2 en 5. De gebroeders van Malsen geven echter aan dat de locatie met fuik nummer 8 (Figuur 3-11) de beste locatie is om salmoniden te vangen.



Figuur 3-11. Aantal per fuikemaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

De migratie van zeeforel is vergelijkbaar met de migratie van zalm, behalve dat zeeforel een minder sterk *homing* gedrag heeft, waardoor zeeforel minder ver van zee trekt. Beide soorten migreren met name overdag tussen 9:00 en 5:00 en het minst tussen 21:00 en 4:00 (bij de Vaate et al. 2003), maar salmoniden in Amerika laten zien dat andere salmoniden zowel overdag als in de nacht migreren (Keefer et al. 2013) hetzelfde geldt voor Denemarken (Aarestrup et al. 1998). Bij hydraulisch complexere situaties migreren zij echter voornamelijk overdag (Keefer et al. 2013).

Migratiegedrag en oriëntatie

Grote individuele variatie in migratiegedrag wat voorkomt bij veel vissoorten is ook waargenomen bij zeeforel (Aarestrup et al. 1998). Het trekgedrag van zeeforel lijkt op dat van zalm, maar verschilt op diverse punten waaronder het feit dat zalmen minder zoekgedrag vertonen nabij de paaiplaatsen (Finstad 2005). Bij de Vaate et al. (2003) gaven aan dat *homing* gedrag bepalend kan zijn voor de routekeuze met name in het bovenstroomse gebied van de rivier. Het feit dat zeeforellen succesvol via diverse ingangen van Nederland zich richting de paaigronden begeeft waarbij ze in het IJsselmeer met stagnerend water worden geconfronteerd (bij de Vaate et al. 2003), kan erop wijzen dat zij net als Atlantische zalm meerdere oriëntatie zintuigen inzetten (Davidsen et al. 2013), zoals oriënteren op afvoer van zoet water (Aarestrup et al. 1998) en geurstoffen (Bij de Vaate et al. 2003, Gosset et al. 2006). Deze laatste lijkt naarmate te paaigronden in de buurt komen steeds belangrijker te worden (Gosset et al. 2006). In de bovenlopen van de Rijn is waargenomen dat zeeforellen alternatieve routes zoeken en mogelijk in andere zijstromen paaien wanneer de route versperd is (Gerlier & Roche 1998). Dit wordt ook gezien in Denemarken (Aarestrup et al. 1998). Aarestrup et al (1998) suggereren dat zeeforellen op geurstoffen afkomen en net zolang doorzwemmen totdat zij deze niet meer ruiken, waarop zij vervolgens weer stroomafwaarts zwemmen tot ze de juiste zijstroom gevonden hebben.

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

De zeeforellen in Nederland bereikten een migratiesnelheid van 11 – 22 km per dag (De Vaate et al. 2003). Andere studies geven vergelijkbare snelheden aan van 3 – 22 km/dag (Gerlier & Roche 1998). De kruissnelheid en sprintsnelheden zullen veel hoger liggen. Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.4-1.5 m/s voor zeeforel van 5-35 cm. Met behulp van Sprintfish wordt een sprintsnelheid van 2.0-8.6 m/s ingeschat voor volwassen zeeforel van 50-100 cm. Recente studies wijzen op hoge sprintcapaciteiten tot 10 m/s voor volwassen salmoniden (Castro-Santos 2013).

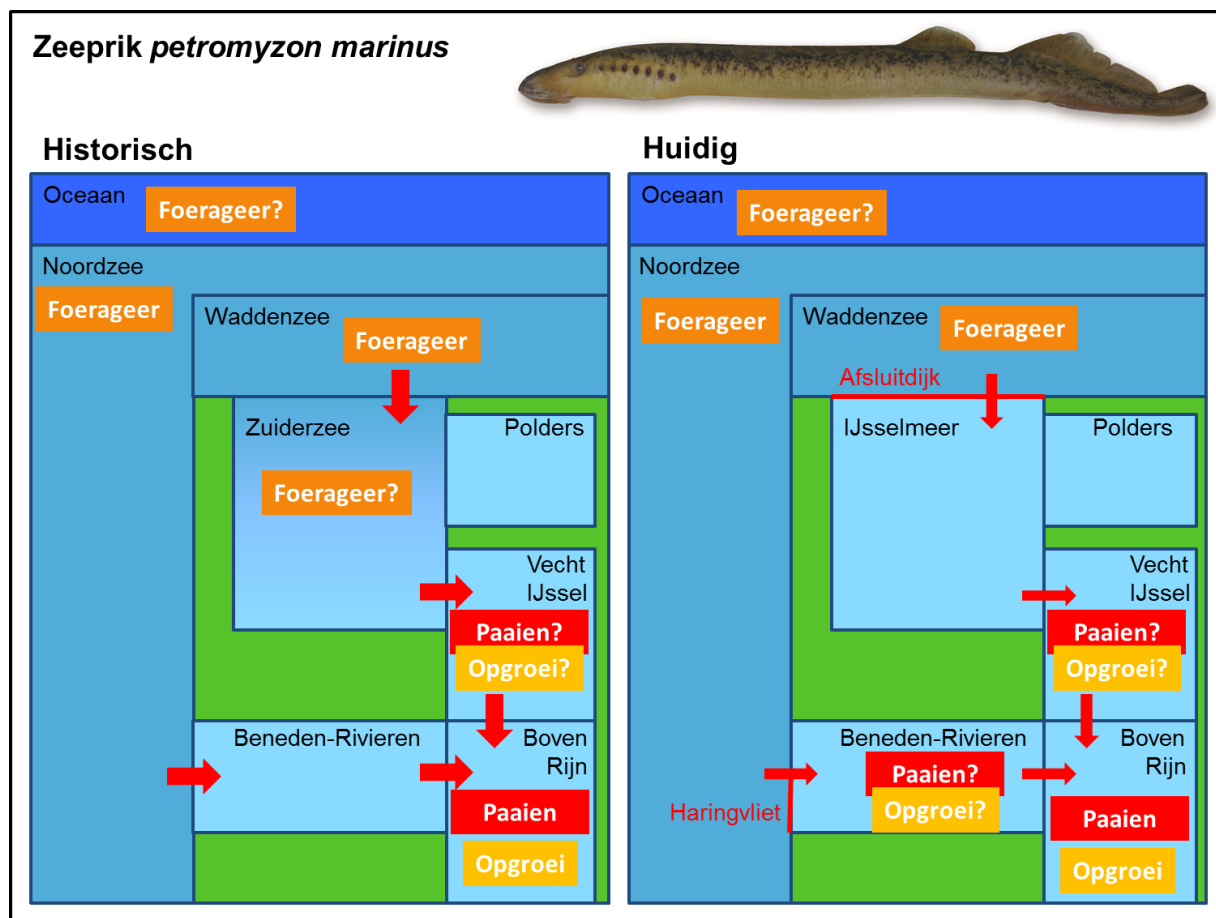
Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

De osmoregulatie van forellen is net als bij veel andere diadrome vissen hormonaal geregeld (Sakamoto 1993, Lebel & Leloup 1992). Echter wanneer een zeeforel zich aanpast zoet wateren hoe een zoet-zout overgang hier een rol speelt is onbekend. Wel is er voor zalmen gesuggereerd dat ze met het getij mee bewegen om zo de overschakeling naar zoet water aan te kunnen (Russell 1998). Bewijzen hiervoor zijn er echter niet. Ook is er een sterke individuele variatie in migratiepatronen voor salmoniden, waardoor sommige vissen sneller een zoet-zout overgang passeren dan andere.



Zeeforel gevangen in de spuikom bij Kornwerderzand (foto Ingrid Tulp)

3.1.11 Zeeprik *Petromyzon marinus*



Timing van intrek

Timing van meren															
				winter		lente			zomer			herfst			
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Migratiegilde	Stadium	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Zeeprik	<i>Petro myzon marinus</i>	Anadroom	Adult												

Sprintcapaciteit

Berekende sprint capaciteit (m/s)			gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)				temperatuur intrek periode (°C)			lengte intrek periode (cm)			berekende sprintcapaciteit (m/s)		
Nederlandse naam	wetenschappelijke naam	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
zeeprik	<i>Petromyzon marinus</i>	4-5	0.5	15	7	15	6	20	10.7	80	100	90	1.2	2.9	1.6

Schematisch overzicht met historisch en huidig voorkomen en functie van deelwatersystemen, waarbij stroomopwaartse migratie tussen deelsystemen is weergegeven met pijlen, de timing van de intrekperiode en de sprintcapaciteit (zie leeswijzer 3.1).

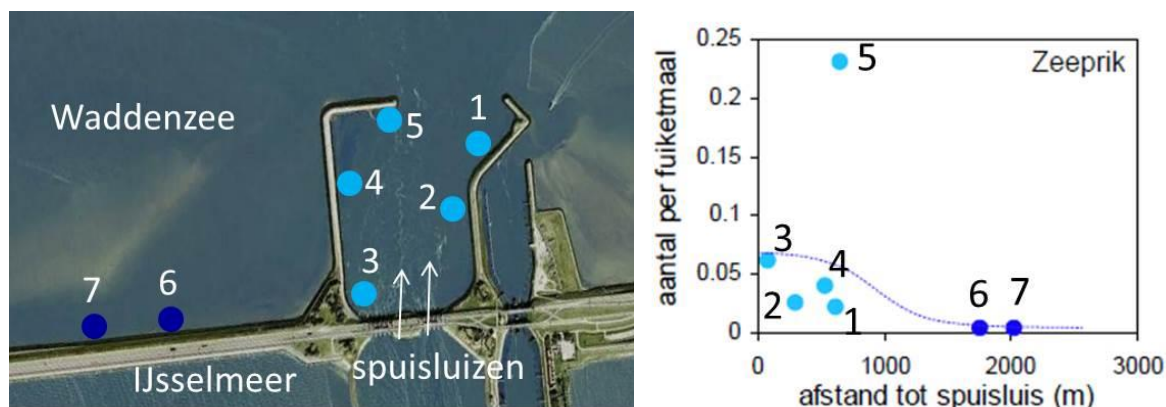
Ecologische schets van de soort

Zeeprik behoort evenals de rivierprik tot de orde der rondbekken. De zeeprik leeft het grootste deel van zijn leven (6-8 jaar) als ammocoete in zoet water voordat deze uiteindelijk in het najaar naar zee trekt. Daar vindt een snelle groei als parasiet op andere vis plaats en na enkele jaren keert de zeeprik in het voorjaar terug naar de rivieren om hoog stroomopwaarts te paaieren. Van zeeprik is nog grotendeels onbekend in hoeverre er een paaipopulatie voorkomt in het stroomgebied van de Nederlandse rivieren. De in het IJsselmeergebied gemelde zeeprikken kunnen afkomstig zijn uit ons omringende landen, omdat ze niet noodzakelijkerwijs terug gaan naar hun geboorterivier (Bergstedt & Seelye 1995). Ze selecteren rivieren op de aanwezigheid van feromonen die door de ammocoeten worden uitgescheiden (Bjerselius et al. 2000, Vrieze & Sørensen 2001).

Populatiestatus en voorkomen Afsluitdijk

Het belang van de migratie tussen zoet en zout water voor rivierprik is groot. Voor de soort is het van belang dat deze de rivier op kunnen trekken tot de paaigronden. Omdat zeeprikken geen *homing* vertonen, maar afgaan op feromonen van de larven is de Afsluitdijk één van de doorgangen richting eventuele geschikte paaigronden in het achterland en zal er ook vermenging tussen verschillende rivierpopulaties optreden. Of de IJssel een route richting de Rijn vormt is onbekend. Op de Noordzee worden zeeprikken slechts incidenteel aangetroffen. In de kustzone zijn de waarnemingen talrijker. Dit verschil is zeer waarschijnlijk beïnvloed door het trekgedrag in relatie tot de voortplanting en de grotere monsterinspanning in de kustzone. De zeeprik trok vroeger vanuit de Noordzee in de rivieren stroomopwaarts, in de Rijn tot Basel en in de Maas tot diep in België. Ook in de Schelde en de Eems is de zeeprik van nature aanwezig. Het aantal waarnemingen van de soort in de grote rivieren is vanaf 1960 sterk afgenomen en vertoont een dieptepunt in de jaren '70 en '80. Toch is de soort nooit geheel verdwenen uit de Maas en Rijn. De zeeprik gebruikt ons land vooral als opgroeigebied voor de larven (ammocoeten) en als doortrekgebied voor volwassen dieren (adulten) die op weg zijn naar geschikte paaiplaatsen in Duitsland en België. Mogelijk bevinden zich echter ook in ons land paaiplaatsen: zo zijn bijvoorbeeld in de Roer sinds 2004 ammocoeten gevonden en zijn in 2009 en 2010 ook enkele volwassen paairijpe zeeprikken waargenomen. Recente waarnemingen van een net gemetamorfoseerde zeeprik in de Niers versterkt het vermoeden dat de soort zich ook in het Maasdal voortplant (van Kessel et al. 2009). Zeeprikken gezenderd bij Lith trekken relatief snel door richting bovenstroomse gebieden, waarbij in enkele dagen 120 km afgelegd is met een gemiddelde snelheid van 0.7 m/s. Ook bestaat de indruk dat zeeprik meer stroomafwaarts in de Maas paaien, aangezien er dode zeeprikken gevonden zijn in juni/juli bij Lith.

In de diadrome vis fuikenmonitoring van IMARES worden weinig zeeprikken gevangen (Figuur 3-12). De zeeprikken die gevangen worden, zijn het meest gevangen in fuiknummer 5.



Figuur 3-12. Aantal per fuiketmaal in het diadrome vis programma van IMARES gevangen over de periode 2001-2007.

Timing van migratie

Volwassen zeeprikken trekken in het voorjaar of de vroege zomer vanuit zee de rivieren op. De migratieperiode van zeeprik is korter dan die van rivierprik. Prikken migreren voornamelijk in de nacht (Kelly & King 2001, Kemp et al. 2011, Keefer et al. 2013). Een onderzoek naar prikken in Amerika wees uit dat prikken zowel overdag als in de nacht migreerden, maar dat ze bij hydraulisch complexere situaties meer in de nacht trekken (Keefer et al. 2013). De paaiplaatsen liggen vaak aan de stroomafwaartse kant van barrières. De larven zakken stroomafwaarts op zoek naar een plaats om zich in te graven. De larven blijven waarschijnlijk 3 tot 8 jaar in de bodem. Als ze 15-20 cm lang zijn treedt een gedaantewisseling op en zwemmen de rivierprikken langzaam naar zee. Dit proces duurt enkele maanden.

Migratiegedrag en oriëntatie

Zeeprikken paaien niet altijd in de geboorterivier, maar worden wel aangetrokken door lokstoffen die in de rivier aanwezige zeepriklarven afscheiden (Vrieze 2010, Vrieze et al. 2011, Johnson et al. 2012).

Zwemcapaciteit en passeermogelijkheden

Net als rivierprikken kunnen zeeprikken hun zuigbek gebruiken bij het passeren van obstakels. Een studie in Portugal naar zeeprikken liet zien dat in gebieden met snel stromend water ze snelle zwemactiviteiten afwisselden met rustperiodes (Quintella et al. 2009). Tijdens elke zwemperiode passeerden ze enkele meters. Hoe moeilijker de situatie werd hoe meer sprintactiviteiten werden waargenomen. Gericht onderzoek naar sprint snelheid in relatie tot gewicht en temperatuur is uitgevoerd door Beamish (1974). Quak et al. (2012) schat de maximale kruissnelheid U_{crit} in op 0.8 m/s voor volwassen zeeprik. Met behulp van Sprintfish wordt een sprintsnelheid van 1.2-2.9 m/s ingeschat voor volwassen zeeprik van 80-100 cm.

Acclimatisatie en het belang van zoet-zout gradiënten

Het belang van een zoet-zout overgang en een mogelijke acclimatisatiezone voor zeeprik is onbekend. Voor larven van de rivierprik en mogelijk dus ook voor de zeeprik is de aanpassing naar zout water niet anders dan vele andere vissen, namelijk door zeewater op te drinken en door ionen in het bloed op te nemen om te voorkomen dat er teveel vocht wordt verloren (Morris 1958). De Noord-Amerikaanse prik-expert Mary Moser bevestigde dat er over duur en noodzaak van acclimatisatie van prikken bij het passeren van zout-zoet overgangen niets bekend is.



Zeeprik heeft verschillende kieuwopeningen en een krachtige 'zuigbek' (foto Wouter Patberg)

3.2 Beknopt overzicht van andere vissoorten die VMR zouden kunnen gebruiken

3.2.1 Mariene vissoorten

In de onderzoeksruiken van de diadrome vismonitoring worden jaarlijks bij Kornwerderzand zoutwatervissen geregistreerd. Onder de zoutwatervissoorten zijn haring en sprat het meest algemeen, hoewel de vangst sterk wisselt tussen jaren. Na haring/sprat zijn schol, zeebaars en grondelsoorten de meest voorkomende soorten. Deze soorten kunnen in sommige levensstadia ook aan de binnenzijde van het IJsselmeer voorkomen. Zo zijn afgelopen jaren in de oeverbemonstering nabij de Afsluitdijk (Van Overzee et al. 2011) op het IJsselmeer brakwatergrondels en juveniele zeebaarzen aangetroffen. Haring en sprat lijken ook in de Witteveen+Bos onderzoeken de meest talrijke intrekker, maar deze worden vervolgens niet ver op het IJsselmeer waargenomen. Jörg Scholte gaf aan dat haring en sprat ook de Eems optrekt maar niet lang verblijft in echt zoet water. Voor de diverse mariene en estuariene vissoorten lijkt niet zozeer passage van de VMR maar meer habitatgebruik in de VMR eventueel aan de orde. Van oudsher paaide er een populatie haring ('Zuiderzeeharing') en ansjovis in het brakke water van de Zuiderzee, maar deze populaties zijn verdwenen (Quak et al. 2012). Sprat benut estuaria met name om te foerageren. In volledig zoetwater hebben deze soorten geen opgroeimogelijkheden.

3.2.2 Zoetwatervissoorten

Een ander probleem dat de aanleg van de Afsluitdijk met zich meebracht is het 'uitspoelen' van zoetwatervis richting de Waddenzee. Gezien de kracht en de stroomsnelheid van het water tijdens het spuien kunnen vissen al dan niet passief richting de Waddenzee worden 'gespoeld'. Dit is met name voor zoetwatervissen een probleem, omdat veel zoetwatervissoorten zich fysiologisch niet kunnen aanpassen aan het zoute water. Het hoeft niet te betekenen dat deze passieve verplaatsing tegen de wil van de vis is, echter zowel actieve als passieve verplaatsing richting de Waddenzee leidt waarschijnlijk tot de dood van die vis. De kans om terug te keren naar het zoete water tijdens het spuien is waarschijnlijk nihil gezien de kracht van de waterstroom van enkele meters per seconde. Deze vissen lijken fysiek in orde vlak na het spuien, maar worden al snel na het spuien niet meer in grote aantallen waargenomen in de spuikom maar wel elders op de Waddenzee in de vaargeulen in een minder goede staat (witte ogen) of dood (pers. comm. gebr. Van Malsen). Ook wordt het als onwaarschijnlijk geacht dat de zoetwatervis bij visintrek door de spuikokers actief terugkeert richting het IJsselmeer (Witteveen+Bos 2009a). De tijd tussen verschillende spuigebeurtenissen, wat alleen bij laag water plaatsvindt, kan oplopen tot zo'n enkele uren (~ 8 uur). Zoetwatervis zou al die tijd in het zoute of brakke water in de spuikom moeten wachten tot een volgende spui om terug te keren richting het IJsselmeer.

Door het spuicomplex bij Kornwerderzand spoelen zoetwatersoorten uit. De zoetwatersoorten zijn bijna uitsluitend jonge vissen die met het gespuide IJsselmeerwater zijn meegekomen naar de buitenzijde van de Afsluitdijk (Witteveen+Bos 2009a, Witteveen+Bos 2009b). Het aantal uitgespoelde zoetwatervissen verschilt van jaar tot jaar. Gegevens van de diadrome vismonitoring bij Kornwerderzand gaf over de periode van 2001-2010 een minimum van 65.000 tot 1.400.000 vissen gevangen in de onderzoeksruiken. De meest voorkomende soorten zijn pos (grootste aantallen), baars, blankvoorn, snoekbaars en brasem. Van deze soorten worden de laatste vier commercieel benut door de beroepvisserij. Onder het huidige spuiregime hebben deze vissen weinig kans om terug te keren naar het IJsselmeer.

Tijdens observaties door IMARES bij de spuisluisen in de Houtribdijk nabij Lelystad werd het met name kleine vis uitgespoeld (<10cm) die zich al dan niet passief lieten meevoeren met de stroming (Griffioen et al. 2012). Bij vis groter dan 10 cm zagen we dat 23% van de grotere vis (o.a. brasem, aal of anders) moeite had om tegen de stroom in te zwemmen tijdens het spuien. Dit resulteerde vaak in zijwaarts zwemmen of een achterwaartse verplaatsing met de kop tegen de stroom in.

3.3 Clustering van soorten in groepen

Voor het overzicht zijn de diverse eigenschappen van de doelsoorten samengebundeld in tabellen. In het vervolg van het document wordt er soms gebruik gemaakt van de categorieën die in deze tabellen zijn beschreven en onderbouwd.

Type migratie

Diadrome vis kan worden onderverdeeld in anadrome en katadrome vis. Vissen zijn afhankelijk van de migratie tussen zoet en zout water voor de opgroei en de paai. Anadrome vis (**Ana**) zwemt als juveniel richting zee om op te groeien en katadrome vis (**Kat**) zwemt juist als adult richting zee. Daarnaast zijn er enkele soorten waarvan het bekend is dat er een deel van de populatie niet afhankelijk is van zout water voor de voltooiing van hun levenscyclus (**Kat/zoet of Ana/zoet**). Of andersom dat vissen niet afhankelijk zijn van zoet water voor de voltooiing van de levenscyclus (**Kat/zout of Ana/zout**).

Nederlandse naam	Categorie	Toelichting
Atlantische steur	Ana	volwassen dieren leven op open zee en trekken de rivier op om te paaien. Ook subadulte dieren trekken het estuarium in, maar zwemmen niet zover als adulten
Atlantische zalm	Ana	volwassen zalm gaan van open zee richting hun geboorte rivieren
bot	Kat/zout	Botten paaien in open zee. De botlarven drijven met de zeestromen mee richting estuaria en kunnen het zoete water optrekken. Sommige botten kunnen volledig op het zoute / brakke milieu opgroeien.
driedoornige stekelbaars	Ana/zoet	Driedoornige stekelbaars kent een anadrome vorm die als volwassen paairijp individu richting het zoete water trekt. Ook zijn er vormen die volledig op het zoete water leeft (residente vorm)
elft	Ana	De elft paaide voorheen in de middengedeelten van de Maas en de Rijn en trok als volwassen dier de zoete wateren op om hier te paaien.
aal	Kat/(zout)	Juveniele glasaal trekt de zoete wateren om hier op te groeien. In het verleden was een zogenoemde buitenaal bekend op de Waddenzee die volledig opgroeide in het zoute water. Deze is zo goed als verdwenen (pers. comm. van Malsen)
fint	Ana	Fint trekt als volwassen dier het estuarium binnen om te paaien en eitjes te leggen.
houting	Ana/zoet	Houting is een anadrome soort die vanuit de Waddenzee het zoet water optrekt om te paaien. Er zijn echter ook aanwijzingen dat houting volledig op het IJsselmeer, het zoete water, opgroeit.
rivierprik	Ana	Rivierprik leeft als volwassen individu aan de kust in het zoute water. Om te paaien trekken zij het zoete water op.
spiering	Ana/zoet	Spiering leeft in het zoute water en trekt als volwassen vis het zoete water op. Na het afsluiten van de Zuiderzee is er een standpopulatie ontstaan van spiering die zijn levenscyclus kan voltooien in het IJsselmeer en meestal niet ouder dan één jaar wordt. Recentelijk neemt ook de standpopulatie in aantal af.
zeeforel	Ana/zoet	Forellen kunnen zich afhankelijk van de opgroeiomstandigheden ontwikkelen als beekforel (volledig zoet) of als anadrome vorm die zeeforel wordt genoemd.
zeeprik	Ana	Zeeeprik leeft als volwassen individu op open zee. Om te paaien trekken zij het zoete water op.

3.3.1 Timing van intrek

De timing van de intrek van vissen kan worden onderscheiden in timing door het jaar in termen van **lente, zomer, herfst en winter**, maar ook gedurende de dag. Het **dag** en **nachtritme** is sterk afhankelijk van de mate van lokale omstandigheden. In hydraulisch complexe locaties met grotere predatierisico's vertonen trekvis een meer uitgesproken dag-nacht ritme dan in hydraulisch eenvoudige natuurlijke omstandigheden (Keefer et al. 2013). Dit is onderzocht bij Noord-Amerikaanse fintachtigen, prikken en salmoniden.

			winter	lente			Zomer			herfst					
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Stadium	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	dag/nacht voorkeur*
Atlantische steur	Acipenser sturio	(sub)adult													?
Atlantische zalm	Salmo salar	Adult													○ (●)
Bot	Platichthys flesus	Juveniel													○ (●)
Driedoornige stekelbaars	Gasterosteus aculeatus	Adult													●
Elft	Alosa alosa	Adult													○ (●)
Europese aal	Anguilla anguilla	Juveniel													●
Fint	Alosa fallax	Adult													○ (●)
Houting	Coregonus oxyrinchus	Adult													?
Rivierprik	Lampetra fluviatilis	Adult													(○) ●
Spiering	Osmerus eperlanus	Adult													●
Zeeforel	Salmo trutta	Adult													○ (●)
Zeeprik	Petromyzon marinus	Adult													(○) ●

* ○ : migratieactiviteit vooral overdag (daglicht), ● : migratie activiteit vooral 's nachts (donker)

3.3.2 Afhankelijkheid van selectief getijdetransport

Het gebruik van selectief getijdetransport uit zich in de verticale verplaatsing van vis tijdens de getijdencyclus. Bij eb zullen de vissen laag in de waterkolom zijn of zelfs ingegraven in de bodem en bij vloed zullen vissen juist de stroming van het water hoger in de waterkolom opzoeken. Ook grotere, sterkere, zwemmers maken gebruik van selectief getijdetransport, maar zullen hier in de regel niet afhankelijk van zijn doordat zij een grotere zwemcapaciteit hebben. Onder deze vissen worden ook soorten verstaan die 'positie houden' in de waterkolom, onafhankelijk of zij zich verticaal verplaatsen, tijdens eb. Vaak wordt bij dit gedrag, juist bij de grotere zwemmers, het belang van deze vorm van selectief getijdetransport gekoppeld aan acclimatisatie, het oriënteren via andere prikkels of het wachten op juiste migratiemomenten. Bij deze prikkels is het niet eenduidig waarom vissen zich volgens de getijdencyclus of afhankelijk van de getijdencyclus bewegen. Voor de clustering van de vissen is het de vraag in hoeverre vis afhankelijk is voor de verplaatsing door middel van selectief getijdetransport (**ja/nee/deels**).

Nederlandse naam	categorie	Toelichting	referentie
Atlantische steur	nee	De steur heeft voldoende zwemcapaciteit om actief te zwemmen of zich te handhaven bij afgaand tij.	
Atlantische zalm	nee	De zalm heeft voldoende zwemcapaciteit om tegen het getij in te zwemmen of zich te handhaven. Er zijn literatuur aanwijzingen dat salmoniden zich met het getij mee bewegen bij de stroomopwaartse migratie. Het is aannemelijk dat dit te maken heeft met het besparen van energie, acclimatisatie of oriëntatie richting geboorterivier.	Potter 1988 Stasko 1975 Davidsen 2013
bot	ja	Bot lijkt sterk afhankelijk van selectief getijdetransport om het zoete water binnen te trekken. De botlarven zijn ook sterk afhankelijk van waterstromen op zee en in een estuarium. Er zijn aanwijzingen dat bot voor de uiteindelijke dispersie stroomopwaarts bij iets grotere lengtes actief zwemt.	Bos 1999 Jager 1998 Jager 1999
driedoornige stekelbaars	ja/deels	Driedoornige stekelbaars gebruikt selectief getijdetransport om zich te verplaatsen. Wel zijn ze minder afhankelijk dan bijvoorbeeld bot, omdat ze actief tegen de stroom in kunnen zwemmen bij bijvoorbeeld hevelpassages.	Bult 2007 Wintermans 1997 Wintermans 2004
elft	nee	Elft heeft voldoende zwemcapaciteit om actief te zwemmen of zich te handhaven bij afgaan tij.	
aal	ja (deels)	Glasaal is zeker tijdens eerste deel van migratieperiode sterk afhankelijk van selectief getijdentransport. Er kunnen soms hoge dichtheden glasaal met lange verblijftijd worden gevonden nabij kunstwerken. Na verloop van tijd schakelen glasaal over naar actief zwemmen, met name in het tweede deel van de migratieperiode.	Dekker, 2000 Bult, 2007 Dekker, 1998 Dekker, 1997 Creutzberg, 1959 Creutzberg, 1961
fint	nee	Fint heeft voldoende zwemcapaciteit om actief te zwemmen of zich te handhaven bij afgaand tij.	
houting	nee	Houting heeft voldoende zwemcapaciteit om actief te zwemmen of zich te handhaven bij afgaand tij.	
rivierprik	nee	Prikken kunnen hun zuigbek gebruiken om zich eventueel te handhaven bij sterke (afgaande) stroming. Er zijn geen aanwijzingen dat zij afhankelijk zijn van selectief getijdetransport en of zij er gebruik van maken.	Quintella, 2004
spiering	ja/deels	Spiering lijkt gebruik te maken van selectief getijdetransport, zin zullen hier minder afhankelijk van zijn dan bijvoorbeeld botlarven. Zij worden actief zwemmend waargenomen in zowel de scheepvaartsluizen als bij de spuicomplexen.	
zeeforel	nee	Zeeforel heeft voldoende zwemcapaciteit om actief te zwemmen of zich te handhaven tijdens afgaand tij. Er zijn literatuur aanwijzingen dat salmoniden zich met het getij mee bewegen bij de stroomopwaartse migratie. Het is aannemelijk dat dit te maken heeft met het besparen van energie, acclimatisatie of oriëntatie richting geboorterivier..	Potter, 1988 Stasko, 1975 Davidsen, 2013
zeeprik	nee	Prikken kunnen hun zuigbek gebruiken om zich eventueel te handhaven bij sterke (afgaande) stroming. Er zijn geen aanwijzingen dat zij afhankelijk zijn van selectief getijdetransport en of zij er gebruik van maken.	Quintella, 2004

3.3.3 Passeervermogen middels actief zwemmen

Het passeervermogen van obstructies bij tegengestelde stroomrichting zal afhangen van de zwemcapaciteit van de betreffende vissoort. Hierbij wordt gekeken naar absolute capaciteit van de vis die afhankelijk is van bijvoorbeeld watertemperatuur en lichaamsgrootte. De sprintcapaciteit die is uitgerekend geeft de capaciteit weer die een vis 5 – 10 seconden kan volhouden. Echter zegt dit nog niks over de passeercapaciteit in relatie tot lokale omstandigheden zoals omgaan met turbulentie of sterke stroomversnellingen. De clusters zijn daarom op basis van inschatting grof ingedeeld. Hierbij zijn de termen **zwak**, **matig** en **sterk**, gekozen. Maar deze termen doen mogelijk geen recht aan de soort wanneer gekeken wordt naar relatieve capaciteit. Prikken vallen onder de categorie matige zwemmers.

Prikken kunnen in de praktijk wel langere trajecten met relatief grotere stroomsnelheden aan door gebruik te maken van hun zuigcapaciteit aan substraat en zo sprongsgewijs te passeren. Doordat ze geen borstvinnen bezitten hebben ze mogelijk wel meer last van turbulentie in het water.

Nederlandse naam	gegevens voor formule (Winter en Densen 2001)					temperatuur intrek (°C)			periode		lengte periode (cm)		intrek		Berekende Sprintcapaciteit (m/s)		
	maand	S	Fxy	x	y	min	max	gem	min	Max	gem	min	max	gem	min	max	gem
atlantische steur	6-7	onbekend				12.1	23	17.6	145	300	223	Onbekend, maar > 1-2 m/s					
atlantische zalm	6-11	0.7	25	9	15	2	23	14.6	60	100	80	2.1	8.6	5.1			
bot	4-6	0.5	20	8	15	6	21	12.7	3	4	4	0.2	0.6	0.3			
driedoornige stekelbaars	3-4	0.5	25	9	15	1.5	11.5	6.8	4	9	7	0.2	0.9	0.5			
elft	5	0.7	20	8	15	9	20	12.8	50	70	60	2.6	5.8	3.5			
europese aal	3-5	0.5	15	7	15	1.5	20	8.8	7	8	8	0.2	0.8	0.4			
fint	4-5	0.7	20	8	15	6	20	10.7	40	55	48	1.9	5.7	2.8			
houting	11	0.7	20	8	15	2	10	6.9	40	61	51	1.5	2.9	2.2			
rivierprik	12	0.5	15	7	15	1.6	6	3.8	33	42	38	0.7	1.0	0.8			
spiering	3-4	0.7	20	8	15	1.5	11.5	6.8	15	25	20	0.7	2.2	1.3			
zeeforel	6-11	0.7	25	9	15	2	23	14.6	50	100	75	2.0	8.6	5.1			
zeeprik	4-5	0.5	15	7	15	6	20	10.7	80	100	90	1.2	2.9	1.6			

Nederlandse naam	categorie	Motivatie
Atlantische steur	sterk	Intrek door subadulten en met name adulte steuren: sprintsnelheden > 2 m/s, duurzwevermogen U_{crit} verwante Acipenser soorten: 1.2-1.9 m/s.
Atlantische zalm	sterk	Intrek door volwassen zalm, sprintsnelheden 2-10 m/s, U_{crit} 0.6-0.9 m/s.
bot	zwak	Intrek met name via botlarven. Zeer beperkte zwemcapaciteit en grotendeels afhankelijk van selectief getijdetransport, U_{crit} 0-0.3 m/s.
driedoornige stekelbaars	zwak	Intrek als volwassen stekelbaars, door beperkte lengte lage sprintsnelheid tot ca. 0.7 m/s voor anadrome stekelbaars, U_{crit} ca. 0.2 m/s.
elft	sterk	Intrek als volwassen elft van 50-70 cm. Sprintcapaciteit minimaal 1.5-2.1m/s, mogelijk tot 5.8 m/s. U_{crit} ca. 0.5-0.7 m/s.
aal	zwak	Glasaal is deels afhankelijk van selectief getijdetranspor, kan geringe stroomsnelheden actief zwemmend passeren: sprint capaciteit 0.3-0.5 m/s, duurzwevermogen U_{crit} ca. 0.2 m/s.
fint	sterk	Intrek als volwassen fint van 40-55 cm. Sprintcapaciteit minimaal 1.2-1.7m/s, duurzwevermogen U_{crit} ca. 0.4-0.5 m/s.
houting	sterk	Intrek als volwassen houting van 40-61 cm. Sprintcapaciteit ca. 1.5-2.9 m/s, duurzwevermogen U_{crit} ca. 0.3-0.7 m/s.
rivierprik	matig/sterk	Intrek als volwassen rivierprik. Deze hebben geen borstvinnen en maakt hen gevoeliger voor turbulentie, echter is hun overall passeervermogen afhankelijk in hoeverre zij gebruik kunnen maken van substraat om met hun zuigbek toch efficiënt om barrières te passeren. Sprintcapaciteit 1.1-1.7 (2.1) m/s.
spiering	zwak/matig	Intrek als volwassen spiering 15-25 cm voor anadrome in. Jonge of uitgespoelde spiering veel kleine. Voor grote spiering bedraagt sprintzwemheid 0.7-2.2 m/s, duurzwevermogen U_{crit} ca. 0.3-0.5 m/s.
zeeforel	sterk	Intrek door volwassen zeeforel, sprintsnelheden 2-9 m/s, U_{crit} 0.4-1.5 m/s.
zeeprik	matig/sterk	Intrek als volwassen zeeprik. Deze hebben geen borstvinnen en maakt hen gevoeliger voor turbulentie, echter is hun overall passeervermogen afhankelijk in hoeverre zij gebruik kunnen maken van substraat om met hun zuigbek toch efficiënt om barrières te passeren. Sprintcapaciteit 1.2-2.9 m/s. U_{crit} ~0.8 m/s

3.3.4 Belang van zoet-zout gradiënt voor acclimatisatie

Over het belang van een bepaald habitat zoals een zoet-zout overgang voor acclimatisatie is voor zover bekend niets bekend in de literatuur (**onbekend**). Wel wordt dit belang vaak gekoppeld aan waarnemingen in gedrag van vis, maar bewijs hiervoor blijft vooralsnog achterwege. Veel soorten zullen zich al in het zoute water, voordat zij de overgang maken naar zoet, fysiologisch voorbereiden op de overgang van zoet naar zout. De vraag is in hoeverre ze daar een brak milieu voor nodig hebben. Hier wordt veel over gespeculeerd, maar er zijn weinig concrete aanwijzingen. Voor fintachtige is bekend dat zij buiten het migratieseizoen sterven als zij in het zoete milieu worden geplaatst (Leggett et al. 1976). Voor glasaal lijkt een habitat voor de acclimatisatie weer niet of nauwelijks (**klein**) van belang (Wilson 2004). Voor larven en jonge stadia is wellicht de fysiologische osmoregulerende capaciteit beperkter en zou het belang van een zoet-zout gradiënt voor acclimatisatie groot kunnen zijn (**groot?**)

Nederlandse naam	categorie	Motivatie	referentie
atlantische steur	onbekend	Er zijn geen gegevens gevonden dat steur eisen stelt aan een bepaald habitat voor de acclimatisatie naar zoet water	
atlantische zalm	Onbekend/ klein	In de literatuur wordt vaak gesuggereerd dat salmoniden met het getij mee zwemmen bij de intrek. Dit kan gekoppeld worden aan oriëntatie, acclimatisatie en of het besparen van energie. Er zijn wel voorbeeld dat salmoniden relatief snel een zoet-zout overgang kunnen passeren, waarbij er veel individuele variatie is.	Potter, 1988 Bij de Vaate 2003 Stasko 1975 Davidsen, 2013
bot	groot?	Mogelijk dat de aanwezigheid van zoet-zout gradiënten voor de acclimatisatie bij juveniele botten en botlarven een grotere rol speelt. Met name larven hebben minder fysiologische mogelijkheden m.b.t. osmoregulatie.	Vethaak, 2013 Vethaak, 2004
driedoornige stekelbaars	onbekend/ gering	Er is veel fysisch onderzoek gedaan naar osmoregulatie van driedoornige stekelbaars. Stekelbaarzen bereiden zich, hormonaal gedreven, gedurende het paaiseizoen voor op veranderende saliniteitsgehalten. In hoeverre zij hier een bepaald type habitat voor nodig hebben is onbekend. Er zijn geen meldingen bekend van sterfte van driedoornige stekelbaars die middels hevelpassage van zout naar zoet water zijn overgezet.	Wintermans 1997 Wintermans 2004 Kitano, 2012 Wootton, 1976
elft	onbekend/ groot?	Het gedrag bij zoet-zout overgangen waarbij fintachtigen met het getij mee bewegen wordt vaak gerelateerd aan het acclimatiseren aan zoetwater tijdens de migratie. Maar bewijs hiervoor ontbreekt en het gedrag kan ook besparing van energie of oriëntatie betekenen. Een studie naar American shad, <i>Alosa sapidissima</i> , waarbij 35 dieren snel van zout naar zoet water zijn gebracht, gaf aan dat bijna alle dieren dood gingen als gevolg van de overplaatsing naar zoet water. Het belang van een zoet-zout overgang als habitat voor de acclimatisatie is onbekend.	Dodson 1972 Leggett, 1976
aal	klein	Het belang van een acclimatisatie habitat lijkt klein voor glasaal. Glasalen die vanuit brakwater (24‰) overgezet zijn in zoet water vertoonden geen sterfte. Zij lijken goed in staat grote variaties aan saliniteit aan te kunnen.	Wilson, 2004
fint	onbekend/ groot?	zie elft	zie elft
houting	onbekend	Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat houting eisen stelt aan een bepaald habitat voor de acclimatisatie naar zoet water	
rivierprik	onbekend	Voor prikken is hier niets over bekend	
spiering	onbekend	Het is onbekend of spiering een bepaald type habitat nodig heeft voor de acclimatisatie naar zoet water tijdens de intrek.	
zeeforel	Onbekend/ klein	Er wordt vaak gesproken over suggesties dat salmoniden met het getij mee zwemmen bij de intrek. Dit kan gekoppeld worden aan oriëntatie, acclimatisatie en of het besparen van energie. Er zijn wel voorbeeld dat salmoniden relatief snel een zoet-zout overgang kunnen passeren. Individuele variatie is hier aanwezig.	Potter 1988 Bij de Vaate 2003 Stasko 1975 Davidsen 2013
zeeprik	onbekend	Voor prikken is hier niets over bekend	

3.3.5 Belang van het passeren van de Afsluitdijk voor de populatie

Het belang voor het voortbestaan van de populatie kan **groot** zijn wanneer soorten sterk afhankelijk zijn de migratie tussen de Waddenzee en het IJsselmeer voor het behoud van de (deel) populatie. Voor soorten als aal levert het IJsselmeer een groot potentieel opgroei gebied en is passage dus erg belangrijk (**groot**). Voor soorten die specifiek *homing* gedrag vertonen zoals zeeforel of zalm zal passage belangrijker zijn, maar sommige rivieren zijn bijvoorbeeld ook via andere ingangen (bijv. Nieuwe Waterweg) bereikbaar (**één van de routes**). Het belang van het passeren van de Afsluitdijk is tevens sterk gerelateerd aan de geschiktheid van het 'achterland'. Wanneer er (nu nog) geen geschikt achterland aanwezig is, is passeren ook niet zinvol (**geen / onbekend**).

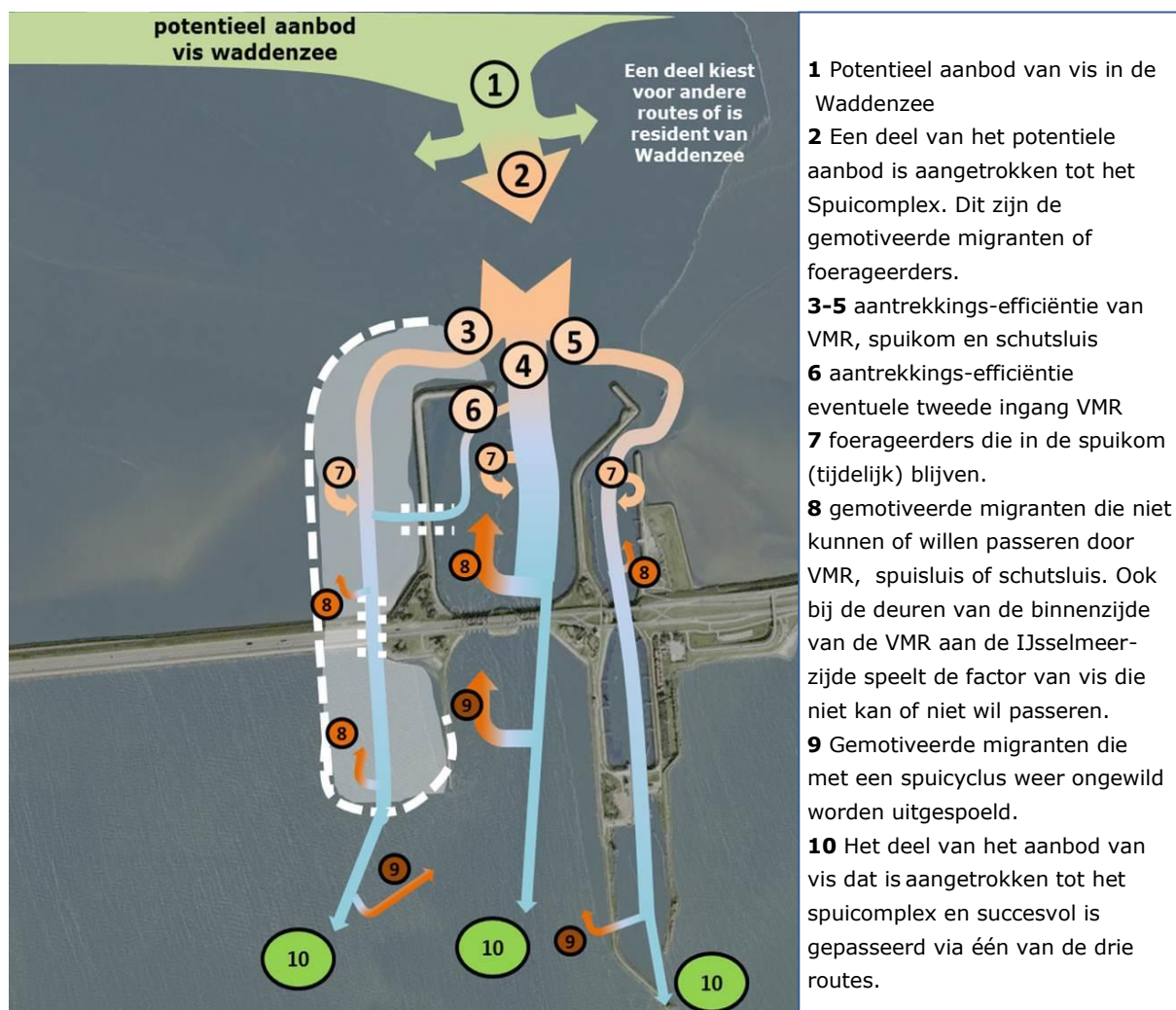
Nederlandse naam	categorie	Motivatie
atlantische steur	één van de routes	De steur is uitgestorven en kwam in het verleden naast de Rijn voor in de Zuiderzee en de IJssel. Bij een eventuele terugkeer van een Rijn populatie zal de Afsluitdijk één van de routes richting de paaigronden zijn.
atlantische zalm	één van de routes	De zalm paait ver op de Rijn. Het passeren van de Afsluitdijk is daarmee één van de routes om de paaigronden te bereiken.
bot	deels	Het passeren van de Afsluitdijk is voor het voortbestaan van de botten in Nederland niet noodzakelijk. Botten kunnen volledig opgroeien in zout water of estuaria. Het belang is deels van belang voor bot. Het passeren van de Afsluitdijk vergroot het leefgebied aanzienlijk en kan daardoor de populatie vergroten.
driedoornige stekelbaars	groot	De anadrome stekelbaars probeert het zoete water binnen te trekken langs de hele kust. Passage door de Afsluitdijk ontsluit een groot gebied voor de stekelbaars.
elft	één van de routes	Elft paaide van oorsprong op de Rijn en de Maas. Hiermee vormt het passeren van de Afsluitdijk één van de routes richting de paaigronden.
aal	groot	Hoewel aal wijdverspreid in Nederland voorkomt en diverse habitats bezet, biedt het IJsselmeergebied een relatief groot opgroei gebied. Het belang wordt daarom als groot ingeschat. In het verleden was er ook een zogenoemde 'buitenaal' bekend die volledig op het zoute water opgroeide. Deze is nagenoeg verdwenen, wat indiceert dat Waddenzee suboptimaal habitat is.
fint	geen	Fint paait in estuaria en heeft een getijcyclus nodig voor de eitjes die met het getij bewegen. Met het verdwijnen van het estuarium is er geen belang voor fint om de Afsluitdijk te passeren. Er is voor de fint alleen een belang bij het passeren van de Afsluitdijk wanneer er een geschikt achterland (estuarium) aanwezig is.
houting	groot/deels	Een deel van de houting groeit op het IJsselmeer op volbrengt volledige levenscyclus op zoet water(IJsselmeer). Het deel van de populatie dat wel tussen zout en zoet migreert moet wel de Afsluitdijk passeren om de paaigronden te bereiken, waarbij de IJssel een belangrijk paaigebied lijkt te zijn.
rivierprik	groot/deels	Rivierprik wordt gevangen in het IJsselmeer en er zijn meldingen van jonge uittrekkende rivierprik bij Kornwerderzand. Het is onbekend, maar niet onwaarschijnlijk, dat rivierprik voor een groot deel afhankelijk is voor het passeren van de Afsluitdijk. Er bevindt zich geschikt habitat voor de paai en de opgroei van larven in aangrenzende wateren van het IJsselmeer (beek- en rivier-systemen). Omdat rivierprik niet ver in Duitsland wordt gevonden in de Rijn lijken zij meer afhankelijk van passage via de Afsluitdijk dan bijvoorbeeld zee-prik die verder de bovenstroomse Rijn opzwemt
spiering	groot	De anadrome spiering is voor een groot deel afhankelijk voor het passeren van de Afsluitdijk voor de paai. Het lijkt er nu op dat de anadrome vorm van spiering geen bijdrage levert aan de populatie in het IJsselmeer, maar helemaal uitgesloten kan dit niet worden. Na de afsluiting van de dijk in 1932 is er een standpopulatie ontstaan die volledig in het IJsselmeergebied opgroeit.
zeeforel	groot/één van de routes	Een deel van forellen kunnen zich ontwikkelen tot beekforellen die op het zoete water blijven. Een ander deel ontwikkelt zich tot anadrome vis. Een forellenpopulatie kan blijven voortbestaan door deze eigenschap. Zeeforel is afhankelijk van het passeren van de Afsluitdijk om de paaigronden in de Overijsselse Vecht (groot belang) en de Rijn (één van de routes) te bereiken. De Afsluitdijk vormt hier één van de routes richting die paaigronden.
zee-prik	één van de routes	Zee-prik wordt relatief weinig waargenomen in het diadrome visprogramma van IMARES bij Kornwerderzand. Zee-prikken paaien met name in de midden- en bovenlopen van de Rijn (zijtakken). Hiermee vormt het passeren van de Afsluitdijk één van de routes richting de paaigronden.

4 Factoren die passage efficiëntie bij zoet-zout barrières bepalen

4.1 Welke factoren bepalen passage efficiëntie bij zoet-zout barrières?

De passage-efficiëntie van trekvis die bij zoet-zout barrières naar binnen wil trekken hangt af van veel factoren. In dit hoofdstuk zetten we deze factoren op een rij en bespreken zowel algemeen geldende principes als meer toegesneden op de specifieke locatie (Kornwerderzand) en beoogde vismigratie-voorziening (VMR) voor de trekvis en andere vissoorten die van de VMR gebruik zouden moeten maken.

De 'totale passage efficiëntie' kan worden gedefinieerd als het percentage van de aantallen vis die bij het spui-complex aankomen en gemotiveerd zijn om naar het IJsselmeer te trekken (punt 2, Figuur 4-1 'aanbod') ten opzichte van de aantallen dat er daadwerkelijk in slaagt om op het IJsselmeer aan te komen (punt 10, Figuur 4-1). In de huidige situatie bij Kornwerderzand zal dit ofwel via de spuiokers ofwel via de scheepsluis plaats moeten vinden, andere intrekroutes zijn niet beschikbaar.



Figuur 4-1. Schematische weergaven van de 'aantrekkings-efficiëntie van de intrekroute', welk deel van het aanbod weet de potentiële intrekroute te vinden (punten 3 – 6) en de 'passage efficiëntie van de intrekroute', welk deel van vis die de route inzwemt slaagt erin deze succesvol te passeren (punt 10).

De totale passage-efficiëntie kan worden opgedeeld in:

- 'aantrekkings-efficiëntie van de intrekroute', welk deel van het aanbod weet de potentiële intrekroute te vinden (punten 2, 3 – 6 in Figuur 4-1).
- 'passage-efficiëntie van de intrekroute', welk deel van vis die de route inzwemt slaagt erin deze succesvol te passeren (punt 10 in Figuur 4-1).

Zo zal de aantrekkings-efficiëntie van de spuisluisen door het grote volume gespuid zoet water groot zijn, terwijl de passage-efficiëntie van vis, die via de spuiokers willen intrekken, door de grote stroomsnelheden voor vrijwel alle soorten gering zijn (punten 8 in Figuur 4-1). Toekomstige maatregelen richten zich ofwel op het verbeteren van de passage-efficiëntie van bestaande intrekroutes, zoals visvriendelijk spui-beheer via de spuiokers, ofwel bieden vis een nieuwe intrekroute, zoals vispassages als de Vismigratierivier. Goed passeerbare intrekroutes met hoge passage-efficiënties (punt 10 in Figuur 4-1) werken alleen goed als ze ook een hoge aantrekkings-efficiëntie hebben (punten 3–6 in Figuur 4-1).

4.2 Factoren m.b.t. aantrekkings-efficiëntie van spuicomplex Kornwerderzand

4.2.1 Oriëntatie van vis bij zoet-zout overgangen in het algemeen

Wanneer vissen afhankelijk zijn van zoet en zout water als opgroei, leef en of paaigebied moeten deze vissen op grotere afstand de verbinding tussen deze watertypen kunnen vinden en benutten. Deze oriëntatie moet in eerste instantie op grotere schaal plaatsvinden. Een vis die leeft op open zee moet zich op grotere afstand kunnen oriënteren om de paaigronden in het zoete water te kunnen vinden. Deze oriëntatie op open zee kan bijvoorbeeld via aardmagnetisme en of met waterstromen plaatsvinden (Rommel & McCleave 1972, Schmidt 1922). Oriëntatie op basis van elektrische en aardmagnetische velden is waarschijnlijk van toepassing voor vis die zich wil oriënteren op grotere schaal richting continenten of regio's. Eenmaal aangekomen bij de monding van een rivier, de overgang tussen zoet en zout water, kan het zijn dat de vis andere technieken en of tactieken moeten gebruiken om uiteindelijk in het zoet water te komen. Men kan hierbij denken aan selectief getijdetransport en wordt verderop in het hoofdstuk uitgebreider beschreven. Dit zien we niet alleen terug bij kleinere vissen zoals glasaal en bot, maar ook bij grotere vissen zoals zalm, steurachtigen en fintachtigen lijken hier gebruik van te maken (Dodson et al. 1972, Stasko 1975, Potter 1988, Moser & Ross 1994). Stroomopwaarts zwemmende zalm in een natuurlijk estuarium zwemt met het getij mee en soms over de bodem tegen de stroom in of houdt positie gedurende eb (Stasko 1975, Potter 1988). Ook lijkt de migratiesnelheid voor zalm lager te liggen eenmaal aangekomen bij een estuarium (Davidsen et al. 2013), terwijl voor glasaal de migratiesnelheid juist hoger kan liggen als ze eenmaal aangekomen zijn in de Waddenzee (Dekker & van Willigen 1997). Soorten als zalm kunnen op open zee juist gericht op hun doel afzwemmen, terwijl soorten als glasaal hier in eerste instantie afhankelijk zijn van waterstromen. Het feit dat zalmen in estuaria af lijken te remmen kan meerdere oorzaken hebben. In de literatuur wordt vaak in discussies aangehaald dat eventuele vertraging in het estuarium juist een middel is om te wennen aan een veranderend zoutgehalte (acclimatisatie). Hiervoor is echter geen bewijs gevonden in de literatuur. Een andere suggestie voor deze vertraging is dat vissen overschakelen op andere oriëntatie, wellicht gevoeliger technieken, of wachten om efficiënt gebruik te maken van de lokale omstandigheden om verder stroomopwaarts te migreren (Davidsen et al. 2013).

Het lijkt erop dat naarmate vissen dichterbij hun doel komen (= het zoete water) ze nauwkeuriger de oriëntatie en zoekgedrag moeten inzetten om bij het zoete water te komen. Omdat de VMR met name voor intrekken, stroomopwaartse zwemmende, vis een goede alternatieve route kan bieden, naast de spuicomplexen en de scheepvaartsluis, wordt de beschrijving van zoekgedrag en oriëntatie op grote en kleine schaal alleen toegespitst op stroomopwaartse migrerende vis.

4.2.2 *Op grote schaal: oriëntatie en aantrekkingskracht van het spuicomplex in de Waddenzee*

Oriëntatie op grote schaal wordt in deze context gedefinieerd door vissen die in de Waddenzee de twee ingangen in de Afsluitdijk moeten kunnen vinden op grotere afstand. Als vis eenmaal de spuikom aan de Waddenzeezijde heeft gevonden moeten de vissen uiteindelijk de openstaande spuideuren passeren tijdens het spuien of de scheepvaartsluizen, naast de spuikom, tijdens het schutten. In de Waddenzee kunnen, net als bij andere systemen vele prikkels ertoe leiden dat vissen bij de deuren van de spuisluizen (of de scheepvaartsluizen) terechtkomen. Prikkels als waterstromen, geurstoffen (feromonen en organische verbindingen) en zoet – zout gradiënten spelen een rol voor vis om zich op grotere schaal te kunnen oriënteren bij het zoeken naar de overgangsgebieden van zout naar zoet (Creutzberg 1959, 1961, Quinn 1990, Hansen et al. 1993, Jager 1998, Gaudron & Lucas 2006, Vrieze et al. 2011, Johnson et al. 2012, Winter et al. 2013). In de Waddenzee kunnen deze prikkels ook een rol spelen, maar hier is weinig lokale kennis van aanwezig.

Salmoniden zwemmen gericht op zoet-zout overgangen af, waarbij ze prikkels, zoals geurstoffen, kustlijnen, maar ook waterstromen kunnen gebruiken naarmate zij dichtbij de zoet-zout overgang komen (Hansen et al. 1993, Potter 1985, - 1988). De meningen lopen uiteen hoe zalmen zich op grotere schaal oriënteren en mogelijk gebruiken zalmen meerdere prikkels om de weg naar de geboorterivier te vinden (Hansen et al. 1993). Prikken gebruiken geurstoffen die worden afgescheiden door larven (ammocoeten) (Gaudron & Lucas 2006, Vrieze & Sörensen 2001, Vrieze et al. 2010, Vrieze et al. 2011). Het is de vraag of deze prikken al op grotere schaal geurstoffen/feromonen van juveniele prikken kunnen traceren en of zij zich niet eerst op basis van andere prikkels, zoals bijvoorbeeld stroming van zoet water, weten te oriënteren.

Zoet – zout gradiënt

In een natuurlijk situatie is de overgang van zoet naar zout water een geleidelijke gradiënt. De rivier mondt uit in de zee waardoor er een brakwater zone ontstaat. Met de afstand tot zee neemt ook de saliniteit af. Vissen kunnen deze gradiënt van saliniteit gebruiken om zich te oriënteren richting het zoete water (Jager 1998). De overgang van zoet naar zout water is bij de Afsluitdijk abrupt en zal alleen tijdens en na een spuigebeurtenis in een vorm van een gradiënt plaatsvinden. Deze gradiënt en een grote zoetwaterstroom die met het spuien wordt gegenereerd zal door vis gebruikt kunnen worden om de verbinding naar het IJsselmeer te vinden. Hoe meer (en langer) spuiwater is geloosd, hoe groter deze zoetwaterstroom zal zijn. De vraag is hierbij of en hoe vis op een zoetwaterstroom reageert.

Het gebruik van geurstoffen

Veel diadrome vissen gebruiken hun geurzintuigen om hen naar paaigebieden te leiden (Stabell 1984 Lucas & Baras 2001). Met name bij salmoniden is het bekend dat zij afgaan op de geur van de geboortelek (Dittman & Quinn 1996). Het zoete water dat met het spuien in de Waddenzee terechtkomt zorgt ervoor dat er ook andere stoffen worden meegebracht in de Waddenzee. Het is goed mogelijk dat juist deze stoffen ervoor zorgen dat vissen zich kunnen oriënteren richting het IJsselmeer. Voordat glasaaltjes de Waddenzee bereiken driften zij op de waterstromen van de Atlantische Oceaan richting de Europese wateren (Schmidt 1922, Munk et al. 2010). Eenmaal aangekomen bij de Europese wateren zoals de Waddenzee lijkt het erop alsof ze andere tactieken gebruiken om de zoete wateren binnen te trekken. Hierbij lijkt, zeker op iets grotere afstanden, niet zozeer de zoet-zout gradiënt van belang, maar organische verbindingen die met het zoete water worden meegevoerd naar zee. Eén van de eersten die hier onderzoek naar heeft gedaan is (Creutzberg 1959, 1961). Hij concludeerde dat organische substanties in het oppervlaktewater verantwoordelijk moesten zijn voor de aantrekkingskracht op glasaal.

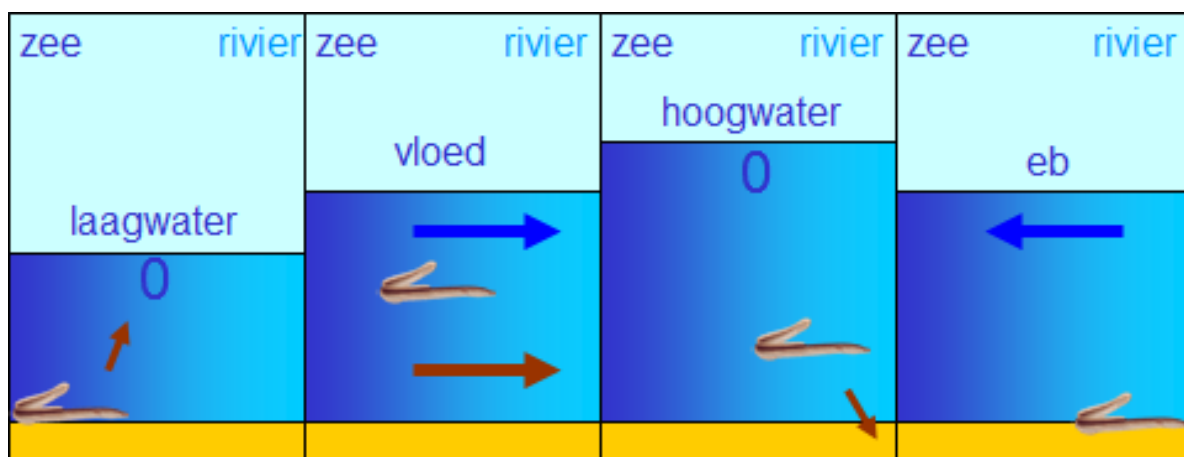
Prikken gebruiken geurstoffen (feromonen) van larven die zich in een geschikt opgroei habitat hebben gesetteld (Gaudron & Lucas 2006, Vrieze et al. 2010, Vrieze et al. 2011). De larven, ammocoeten, scheiden een feromoon dat voor de intrekende volwassen prikken een teken is dat er verderop geschikt paai- en opgroei-gebied is. Hoe detecteerbaar deze feromonen op grotere schaal zijn en hoelang deze

feromonen detecteerbaar blijven voor vis in de Waddenzee is onbekend. Telemetrische experimenten met rivierprikken in het Drentsche Aa gebied vanuit de Eems Dollard suggereren dat prikken gericht op hun doel, de paaigronden, afgaan en daarbij zijstroomen waar geen larven in leven negeren (Winter et al. 2013). Wellicht oriënteren deze rivierprikken zich eerst op grotere schaal via een zoete waterafvoer vanuit het Eemskanaal dat uitmondt in de Eems Dollard. Eenmaal in het Eemskanaal is er een grote variatie aan gedrag te zien. Het lijkt erop alsof ze 'in de war' worden gebracht door het stagnante water in de kanalen waar de geurstoffen en de waterstromen mogelijk lastig waar te nemen zijn of mogelijk zelfs verdwijnen. Experimenteel onderzoek in Amerika naar prikken (*Entosphenus tridentatus*) die werden geplaatst in een Y-buis, waarbij de dieren konden kiezen tussen water met en zonder feromonen bleek dat ze aangetrokken werden tot beide buizen, echter prikken tijdens de migratie stadia waren meer aangetrokken tot de buis met feromoon, dat in lage concentraties aanwezig was (Mary Moser, ongepubliceerde resultaten).

Selectief getijdetransport

Selectief getijdetransport is de verplaatsing van de vis door slim gebruik te maken van het getij. Een getijcyclus kent een afgaand tij (eb) en een opkomend tij (vloed). Wanneer je als vis je richting het zoete water wilt verplaatsen is het zeer efficiënt om gebruik te maken van het opkomende tij (Figuur 4-2). Dit zijn de perioden waar de waterstroom richting het zoete water is gericht. Tijdens afgaand tij (eb) is het zaak om de positie vast te houden.

Met name juveniele katadrome soorten en kleinere anadrome soorten kunnen hier hun voordeel meedoen om energie te besparen wanneer zij tegen de stroom in het zoete water moeten bereiken om op te groeien. Maar ook grotere, relatief sterkere zwemmers zoals zalm en fintachtigen, maken hiervan gebruik door met het getij in een estuarium stroomopwaarts te bewegen (Dodson et al. 1972, Stasko 1975, Potter 1988, Moser & Ross 1994). Bij afgaand tij proberen zij positie te houden door zich in te graven in de bodem (bijvoorbeeld bot), dicht bij de bodem te blijven of stationair te zwemmen in de stroom en bij opkomend tij juist de waterkolom in te zwemmen en gebruik te maken van de stroming van het water. Op deze manier besparen ze energie en worden ze niet weggespoeld door het afgaand tij. Voor glasaal en bot kan het gebruik maken van het getij uitkomst bieden om het zoete water te bereiken (Creutzberg 1961, Bos 1999, Jager 1999, Trancart et al. 2012). Dat glasaal selectief getijdetransport gebruikt in de Waddenzee om bij de spuicomplexen te komen is aangetoond door Creutzberg (1961) en verder bediscussieerd met aanvullende veldgegevens door Dekker & van Willigen (2000).



Figuur 4-2. Een grafische voorstelling van selectief getijdetransport. Tijdens afgaand tijd drukt vis zich tegen de bodem om positie te houden en tijdens opkomend tij wordt de waterkolom opgezocht om energetisch efficiënt gebruik te maken van de waterstroom

4.2.3 Op kleine schaal: oriëntatie en aantrekking binnen het spuicomplex

Eenmaal aangekomen zal het aanbod van gemotiveerde migrerende vis bij het spuicomplex zich moeten herverdelen over de diverse routes binnen het complex (Figuur 4-1). Wanneer vissen gemotiveerd zijn om te trekken en ze bij een barrière als de Afsluitdijk aankomen is het de vraag wat de vissen doen. Gaan ze actief zoeken naar passagemogelijkheden? Blijven ze wachten? Ontstaan er grote concentraties vis? Keren ze om op zoek naar een andere migratiemogelijkheid? Proberen ze het op een later tijdstip nog eens bij dezelfde route? Allemaal vragen die waarschijnlijk per soort, per individu en per locatie zullen verschillen. Ze moeten lokaal zoeken naar migratiemogelijkheden en gebruik maken van de vensters die worden geboden. Lokale beroepsvissers geven aan dat veel vis, zoals spiering en glasaal zich ophoopt in de diepe plekken van de spuikom. Bij afgaand tij zwemt spiering actief richting de deuren om richting het IJsselmeer te zwemmen. Onderzoek van Witteveen en Bos (2009a, 2009b) liet ook zien dat vis voornamelijk aan het begin van de spui het IJsselmeer binnenzwemmen. Dit waren vooral spiering en driedoornige stekelbaars. De netten waren te grof om ook glasaal te vangen, maar deze waren volgens de auteurs mogelijk wel aanwezig evenals botlarven (pers. comm. G. Kruitwagen).

Zoekgedrag van vissen is een begrip dat lastig te kwantificeren of te visualiseren is. Dit kan namelijk per individu maar ook binnen de soort sterk verschillen (Russell et al. 1998, Winter et al. 2013). Daarnaast kan de variatie in lokale omstandigheden het gedrag van vis beïnvloeden (predatierisico, windrichting, windkracht, neerslag etc.). Hoe gedrag wordt beïnvloed in een onnatuurlijke situatie is sterk afhankelijk van de situatie en hoe deze aansluit op het gedrag van vis.

Zoekgedrag sterke zwemmers

Davidson et al. (2013) geven aan dat zalmen in estuaria lijken te wachten op de juiste omstandigheden om over te schakelen op andere oriëntatietactieken. Het wachten kan ook gerelateerd zijn aan het overschakelen op een nieuw zoutgehalte (Davidson et al. 2013). Ook bij telemetrie-experimenten met zalmen door Russell et al (1998) is individueel variërend gedrag waargenomen afhankelijk van de timing en de afvoer van de rivier. Een deel van de zalmen lijkt zich wel aangetrokken te voelen door de zoete lokstroom uit de passage, maar er is uiteindelijk maar een klein percentage dat er gebruik van maakt (Russell et al. 1998). Duidelijk is dat barrières vertraging kunnen veroorzaken in de migratie. Het is echter niet eenduidig of deze vertraging of ophoping ook nadelig is voor het individu. Dit zien we terug in de onderzoeken van Keefer (2013). Onderzoek naar vijf verschillende vissoorten in Amerika (zalm, prik en een fintachtige: *Oncorhynchus tshawytscha*, *O. nerka*, *O. mykiss*, *Entosphenus tridentatus*, *Alosa sapidissima*) heeft laten blijken dat de migratiepatronen voor deze stroomopwaarts zwemmende anadrome soorten systematisch varieerden tussen habitattypen binnen dezelfde vissoort.

Er werd zwemactiviteit van de vissen waargenomen gedurende een dagcyclus van 24 uur in minder risicovolle weinig turbulente situaties, terwijl de mate van activiteit verminderde bij situaties die sterk uitdagend en risicovol waren (Keefer et al. 2013). Risicovol of complex werd beschreven als een grotere kans op predatie bij vispassages of grote stroomsnelheden of turbulentie. In dergelijke situaties waren zalm en de fintachtige voornamelijk overdag actief en prikken 's nachts (Keefer et al. 2013). Er wordt gesuggereerd dat in situaties waar er weinig complexiteit is voor de vissen de gewoonlijke oriëntatie voor vissen gebruikt kan worden: bijvoorbeeld het volgen van geursporen of (stabiele) waterstromen. Wanneer de situatie sterk verandert door grote waterstroomsnelheden en turbulentie zullen soorten als zalmen mogelijk meer of andere prikkels (zicht) moeten zoeken om hun weg te vinden (Keefer et al. 2013). Dit zou bijvoorbeeld kunnen door voornamelijk overdag (salmoniden en fint-achtigen) of voornamelijk in de nacht te migreren (prikken) (Kelly & King 2001, Kemp et al. 2011, Keefer et al. 2013).

Bij de stuw in de Elbe bij Geesthacht is in 1998 een natuurlijke vispassage met relatief gering debiet aangelegd. In 2010 is langs de andere oever de grootste vispassage van Europa aangelegd (type vertical slot). Hier is grootschalig PIT-tag onderzoek bij deze dam bij Geesthacht, naar de diadrome soorten rivierprik, zeeforel, zalm, zee-prik, houting en migrerende zoetwatervissoorten als winde, barbeel,

snoekbaars, kwabaal, roofblei en kopvoorn uitgevoerd (Faller & Schwevers 2012). De resultaten laten zien dat er geen effect is van de oever waarlangs de vis is uitgezet voor geen van de soorten. Dit suggereert zoekgedrag langs de stuw of tenminste menging over de gehele breedte van de rivier. Er was wel een duidelijk soortspecifieke verdeling over beide vistrappen.

Gedrag zwakke zwemmers

Hoe dit lokaal zoekgedrag voor de spuicomplexen in de Waddenzee uitpakt, is alleen voor glasaal bekend vanuit onderzoek. Resultaten van Dekker en Willigen (2000) in de Waddenzee laten zien dat glasaal de spuisluizen bij den Oever als bij Kornwerderzand in gelijke mate weet te vinden (Figuur 3-6). Dekker en Willigen (1997) beschrijven een ophoping en een langdurig verblijf van glasaal voor de deuren van spuicomplexen. Hierbij zijn met merk-terugvangst-experimenten enkele glasalen zelfs na 14 dagen nog steeds voor de spuideuren waargenomen terwijl op vrijwel alle nachten is gespuid (Dekker & van Willigen 1997). Dit suggereert dat zij langere tijd voor de spuideuren aanwezig blijven. Hoewel Dekker & van Willigen (1997, 2000) aangeeft dat de ophoping en de vertraging van glasaal voor de spuideuren niet per definitie nadelig kan zijn, is het niet onwaarschijnlijk dat er een grotere kans op predatie ontstaat. Deze vergrote kans op predatie door ophoping of het willen passeren van complexe barrières kan ervoor zorgen dat vissen zich anders gedragen. De vraag rijst dan op of en vooral hoe zij alsnog de sluisdeuren kunnen passeren. Na een oriëntatie van achtereenvolgens waterstromen en selectief getijdetransport in combinatie met geurstoffen zullen zij in het laatste stadium actief de spuideuren moeten passeren. De eerste vraag is of zij actief zoeken naar mogelijkheden voor passage. Dekker & van Willigen (1997) laat dit zien via een vergelijking tussen een groot kruisnet van 5x5m en een 1x1 kruisnet. Dit laatste kruisnet wordt gebruikt voor de monitoring sinds 1938 bij de spuisluizen van den Oever. Het 5x5 net was ook gebruikt bij de spuisluizen bij den Oever tijdens merk- terugvangst-experimenten. De resultaten gaven aan dat op dezelfde locatie met het grote kruisnet er gemiddeld relatief sneller minder werd gevangen, dan met de kleinere kruisnetten. Waar met het kleine kruisnet er over langere tijd (ca. 9 uur) gedurende de nacht glasaal gevangen werd, was er voor het grotere kruisnet een grote piek over een kortere tijd (ca. 4 uur). Dit suggereert dat er op kleine schaal genoeg beweging is om met het kleine kruisnet opnieuw glasaal te vangen, maar dat op grotere schaal de beweging van glasaal beperkter lijkt waardoor er lokale uitputting ontstond bij het grotere kruisnet. Dit geeft aan dat glasaal waarschijnlijk beperkt zoekgedrag vertoont en waarschijnlijk lang vertrouwt op selectief getijdetransport, maar dat er uiteindelijk overgeschakeld wordt naar actief zwemmen om het IJsselmeer in te zwemmen.

Actief zoekgedrag voor glasaal lijkt beperkt op basis van vergelijking van verschillende kruisnetten (Dekker & van Willigen 1997). Er is eerder sprake van lokale ophoping als gevolg van het niet kunnen passeren van de sluisdeuren (Dekker & van Willigen 1997). Ook juveniele bot lijkt zich op te hopen voor sluisdeuren in de Eems Dollard; door de fysieke beperkingen van bot lijkt dit deels een gevolg te zijn van getijstroming (Jager 1998). Toch kan niet worden uitgesloten dat een attractie via een zoet-zout gradiënt en de invloed van een zoetwaterstroom ervoor zorgt dat botlarven zich actief verplaatsen naar zoet – zout overgangen (Jager 1998). Beroepsvissers zien spiering met afgaand tij richting de deuren verplaatsen, terwijl dit energetisch gezien een inefficiënte manier van migreren is, maar mogelijk wel de enige optie om de spuideuren te passeren. De spuideuren worden met laag tij opengezet omdat dan de getijstroom richting Waddenzee gericht is. Een actieve en gerichte zwembeweging richting de deuren in deze periode van de getijcyclus geeft een kans om het complex te passeren. Helemaal aan het begin van een spuicyclus zal de beperkte waterstroom mogelijk kans bieden om het IJsselmeer te bereiken. Wanneer het water eenmaal aan het stromen is tijdens het spuien zal de stroomsnelheid te hoog zijn om er tegenin te zwemmen.

Hoe prikken zich gedragen op lokale schaal in de spuirom is onbekend. Wel worden rivierprikken net als spiering, gevangen middels het 'kuilen' in de spuirom (pers. comm. gebr. van Malsen). Experimenten met rivierprikken bij stuwen laten zien dat rivierprikken hun bek kunnen gebruiken om tijdelijk te rusten tijdens het passeren van de barrières (Kemp et al. 2011). Het gebruik van de bek om positie te houden werd groter naarmate het debiet groter werd, hiermee werd het aantal pogingen om een passage te

passeren ook gereduceerd. Waar andere vissen bij suboptimale omstandigheden meerdere pogingen kunnen doen om een passage te passeren, kunnen prikken de efficiëntie van de passage sterk beïnvloeden door bij suboptimale omstandigheden minder pogingen te doen en tussendoor te rusten door zich vast te zuigen aan substraat.

Prikken hebben de neiging om langs de muren en de bodem te migreren, hier zijn de stroomsnelheden mogelijk lager en hebben ze de mogelijkheid om zich vast te zuigen (Kemp et al. 2011, Russon et al. 2011). Prikken lijken minder succesvol te passeren bij barrières bij stroomsnelheden van 1.5m/s, hoewel sommige kunnen passeren bij 1.7 m/s (Kemp et al. 2011). Andere studies laten passage met stroomsnelheden van 1.1 – 1.3 m/s zien (Laine et al. 1998a) en zelfs 1.75 – 2.12 m/s (Russon & Kemp 2011). Hiermee lijkt het alsof voor prikken de zwemcapaciteit en de stroomsnelheid niet per definitie doorslaggevend hoeven te zijn voor een succesvolle passage, maar dat lokale omstandigheden hier belangrijker voor zijn. Prikken zijn minder goed in staat om stabiel te kunnen blijven in turbulente situaties, doordat zij geen borstvinnen hebben die de stabiliteit kunnen waarborgen (Liao 2007, Kemp et al. 2011). Hierdoor hebben zij wel eerder last van turbulentie.

Optreden van concentraties of 'rustplaatsen'

Dat er concentraties van vis ontstaan bij zoet-zout overgangen wordt bijvoorbeeld gezien in de Eems Dollard bij botlarven (Jager 1998), bij glasaal bij de Afsluitdijk (Dekker & vanWilligen 1997, 2000) en bij andere vis nabij stuwen (Baumgartner 2006). De vraag is alleen waarom er concentraties vis ontstaan. Dit kan een gevolg zijn van getijstroom (Jager 1998) of doordat ze lang blijven vertrouwen op selectief getijdetransport maar niet kunnen of willen passeren (Dekker & vanWilligen 1997, 2000). Sterkere zwemmers, zoals zalmen en fint-achtigen houden zich niet in grote groepen op maar houden positie bij barrières stil (Dodson et al. 1972, Potter 1985, 1988, Moser & Ross 1994). De reden waarom deze vissen tijdelijk positie houden is vooralsnog onbekend en mogelijk van verschillende aard. Dit kan wachtgedrag, acclimatisatie of het gevolg van waterstromen zijn. Binnen de spuikom bij Kornwerderzand vormen zich waarschijnlijk ook concentraties van vis. Op basis van jarenlange ervaring kunnen lokale beroepsvissers sommige concentraties precies aanwijzen en die concentraties zijn vaak gerelateerd aan diepere plekken 'putten' in of rondom de spuikom (Figuur 4-3). Of de vissen hier alleen tijdelijk zitten tussen de spuiperioden in of dat de vissen zich tijdens het spuien bij de bodem tussen het strotsteen kunnen handhaven is onbekend, wel geven de vissers aan dat dit bij de diepere delen in de spuikom is. Er wordt genoemd dat vissen wachten op het opengaan van de spuideuren, waarna zij richting het IJsselmeer zwemmen bij opengaande deuren. Het is onbekend hoe efficiënt en op welke schaal dit gebeurt. Ook wordt aangegeven nabij de westelijke kant van de spuisluisen er veel vis wordt waargenomen voor de beroepsvissers.



Figuur 4-3. Concentraties van vis in de spuikom aangewezen door beroepsvissers. De concentraties (rode vlekken) zijn gerelateerd aan de diepere delen van de spuikom (bathymetrie, rechter plaatje) en twee fuiken (rode stippen) waar in de monitoring van IMARES hogere aantallen vis worden gevangen in de periode 2001 – 2007 (Winter 2009). Of er andere concentraties van vis in de spuikom zijn is onbekend.

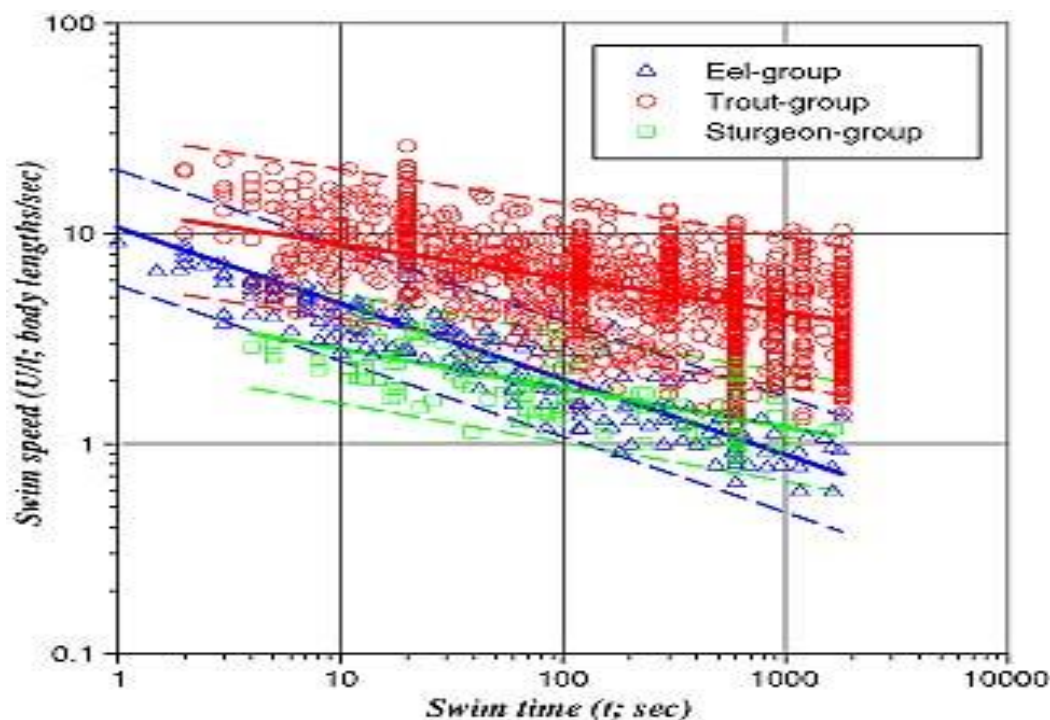
Op basis van onderzoek naar glasaal is bekend dat er zich concentraties voordoen bij de spuicomplexen (Dekker & van Willigen 1997, 2000) en ook van spiering en mogelijk ook stekelbaars zijn er observaties van beroepsvissers dat er concentraties in de spuikom zijn. In hoeverre deze concentraties zich voordoen op dezelfde plekken is vooralsnog onbekend. Ook lijkt de locatie fuik 5 (gele stip Figuur 4-3) die is geplaatst ten behoeve van langdurig monitoringonderzoek naar diadrome vis een fuik waar opvallend veel vis wordt gevangen (Winter 2009). Of deze vangsten het gevolg zijn van het schuilen of het passief drijven in de luwte tijdens een spui gebeurtenis, een natuurlijke concentratie als gevolg van oriëntatieprikkels of een andere reden is onbekend.

4.3 Factoren die passage-efficiëntie in vispassages bepalen

Er zijn diverse factoren die passage-efficiëntie bepalen. Deze factoren zijn met elkaar verweven en in zoverre is de onderstaande opdeling tot op zekere hoogte arbitrair.

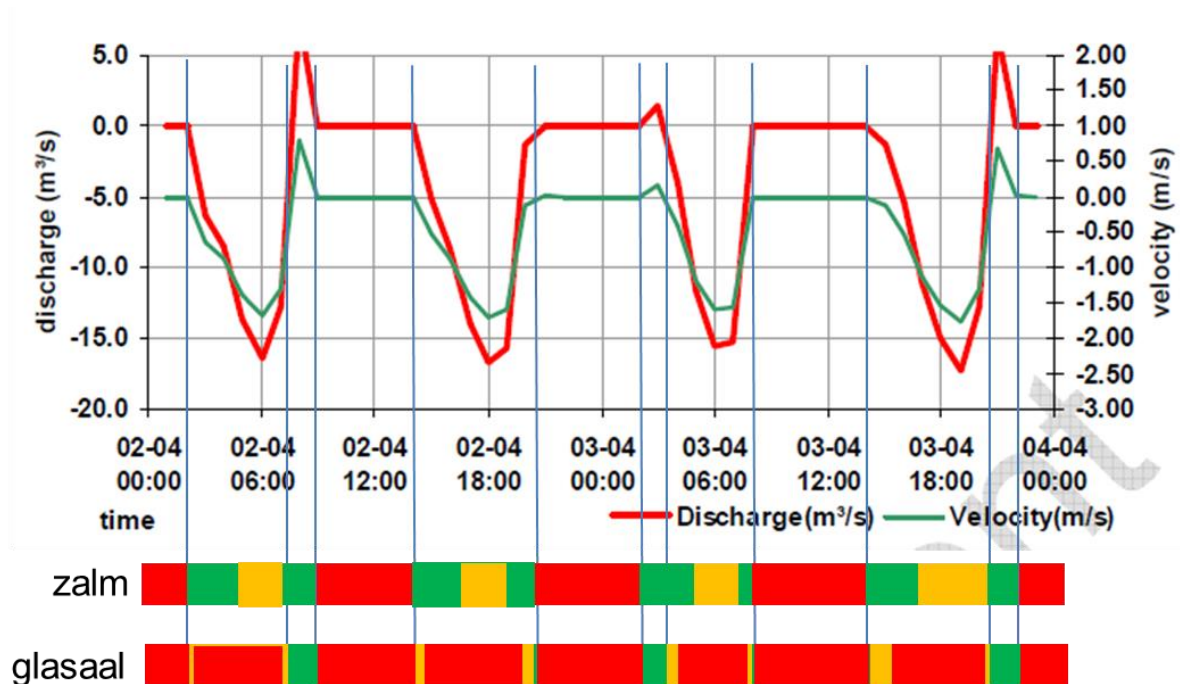
4.3.1 Zwemcapaciteiten van vis (kunnen passeren)

Bij het passeren van vispassages speelt de zwemcapaciteit van vis een grote rol. Vis moet tenminste fysiek in staat zijn om de heersende stroomsnelheden te kunnen passeren wil een vispassage succesvol zijn. Er wordt vaak onderscheid gemaakt tussen verschillende typen zwemcapaciteiten: sprintsnelheid die seconden kan worden volgehouden, verlengde sprint die minuten kan worden volgehouden, en kruissnelheid die uren kan worden volgehouden (Videler & Wardle 1991; Videler 1993). Sprinten wordt gedaan met de witte spieren en is een anaeroob proces met in de spiercellen opgeslagen glycogeen als brandstof (Wardle 1980). Dit is een biochemisch proces en daarom sterk afhankelijk van de watertemperatuur. Met elke 10 graden hogere watertemperatuur verdubbelt de sprintcapaciteit (Videler & Wardle 1991). Maximale sprintsnelheid kan maar 5-15 seconden worden volgehouden totdat het glycogeen is opgebrand (Blake 1993). Omdat het weer aanvullen van het opgeslagen glycogeen tijd vergt, kan een volgende sprint pas na langere tijd weer worden ingezet. Dit maakt vis tijdelijk kwetsbaar voor bijvoorbeeld predatoren en daarom is vis in het algemeen terughoudend om de maximale sprintsnelheid in te zetten (Videler 1993). Voor verlengde sprints en kruissnelheden zijn ook rode spieren betrokken en speelt de zuurstofopname een rol. De hoogte van de zwemsnelheden en het duurvermogen zijn sterk afhankelijk van lichaamsmorfologie, lengte van de vis, watertemperatuur en zuurstofgehalte (Katopodis & Gervais 2012). Katopodis & Gervais (2012) hebben een grote database met zwemsnelheden voor vele vissoorten (met name migrerende soorten en onder temperaturen die de range tijdens de trek weerspiegelen) samengesteld en op basis hiervan voor drie soortgroepen vis uitputtingscurves opgesteld (Figuur 4-4). Deze curves kunnen worden gebruikt om verschillende scenario's met stroomsnelheden, vissoorten, vislengte en weglengte (bijvoorbeeld 100 m in de koker) door te rekenen. Met name de weglengte waarover vis een bepaalde stroomsnelheid moet overwinnen is van belang. Trekkende vissoorten zoals salmoniden en fintachtigen zijn in staat om hun zwemsnelheden te optimaliseren op basis van bepaalde stromingscondities, anders dan veel zoetwatervissen (Castro-Santos 2006).



Figuur 4-4: Uitputtingscurves voor drie groepen trekvis: aal (4 soorten), salmoniden (65 soorten) en steur (4 soorten). De zwemsnelheid is in lichaamslengtes/s uitgedrukt (y-as), en de tijdsduur dat deze zwemsnelheid kan worden volgehouden in seconden (x-as); uit Katopodis & Gervais (2012).

Wereldwijd zijn vispassages aangelegd langs barrières in stromende wateren, waarbij de stromingscondities in de vispassage meestal vrij constant blijven. Vis kan alleen via actief zwemmen passeren en de zwemcapaciteit van vis is een belangrijke factor in het succesvol passeren van deze vispassages. De VMR wijkt hier sterk van af omdat de stromingscondities veranderen gedurende de getijdencyclus en bovendien zowel een fase met naar de Waddenzee uitstromend water (die met actief zwemmen te passeren is) als een fase met vanuit de Waddenzee instromend water (waarbij vis kan meeliften op de stroming om naar het IJsselmeer te trekken). In de doorberekende variant van de VMR in de Haalbaarheidsstudie heeft intrekende vis te maken met een maximale tegenstroom van 0.30 m/s in het buitengaats deel, 1.96 m/s in de koker en 0.53 m/s in het binnengaats VMR deel. De maximale stroming mee naar het IJsselmeer bedraagt 0.25 m/s in het buitengaats deel, 0.94 m/s in de koker en 0.09 m/s in het binnengaats VMR deel. In zoverre is zwemcapaciteit niet beperkend voor de intrek van vis. In de buitengaats en binnengaats deel van de VMR zullen de stromingscondities langs de bodem en oever lager zijn, wat actieve stroomopwaartse passage nog verder zal vergemakkelijken. De zwemcapaciteiten van vis bepalen dus niet of de VMR passeerbaar is, maar hoe lang deze per getijdencyclus passeerbaar is, ofwel hoe groot het migratievenster in de tijd is. De hoogste stroomsnelheden in beide richtingen komen voor in de 100 m lange koker door de Afsluitdijk. Vis met zeer geringe zwemcapaciteit, zoals botlarven, is vrijwel volledig afhankelijk van het meeliften met de stroming en heeft kortdurende intrekvensters beschikbaar per getijdencyclus. Uitgaande van 0.5 m/s stroom mee doen deze larven er dan 3 minuten en 20 s over om de koker passief te passeren, bij 0.2 m/s stroom mee duurt het passeren van de koker 8 minuten en 20 s. Dit maakt dat de werkelijk beschikbare migratievensters voor meedrijvende vis korter zijn dan de tijdsvensters waarin er stroming van Waddenzee naar IJsselmeer loopt. Sterke zwemmers als zalm en zeeforel hebben langer durende intrekvensters tot hun beschikking omdat deze actief zwemmend ook fasen waarbij hogere stroomsnelheden in de koker voorkomen kunnen overwinnen (Figuur 4-5).



Figuur 4-5: In de VMR haalbaarheidsstudie heeft Deltares stromingsomstandigheden in de koker gemodelleerd. Op basis hiervan zijn de migratievensters van zalm (sterke zwemmer) en glasaal (zwakke zwemmer die vooral selectief getijdetransport zal benutten) weergegeven. Rood geeft aan dat migratie niet mogelijk is; aanvullende stroming remmende voorzieningen zijn dan nodig. Groen geeft aan dat migratie zeker mogelijk is. Oranje geeft aan dat migratie wellicht mogelijk is (voor zalm is dit afhankelijk van de lengte van de zalm en de watertemperatuur; voor glasaal of deze naast selectief met de stroming mee ook via actief zwemmen de koker kan passeren).

4.3.2 Gedrag van vis in de VMR (bereid zijn te passeren)

Zwemsnelheden zijn op zich niet beperkend voor het passeren van de VMR (zie 4.3.1). De 'bereidheid' van vis om te wachten op een passeerbaar migratievenster (dat zich in de VMR gedurende elke getijdencyclus voordoet) zal veel doorslaggevend zijn voor een succesvolle passage. Het gedrag van vis zal bepalend zijn of en welk deel van de vis de VMR ook daadwerkelijk succesvol weet te passeren. Wanneer vis niet verder komt, is het gedrag van belang. Gaat vis zich tegen de bodem settelen, zoals bij selectief getijdentransport, of gaat vis zoeken, zoals veel trekkende vissoorten in stromende zoete wateren doen (Williams et al. 2012). Over gedrag van vis bij zoet-zout-overgangen is erg weinig bekend. En ook in hoeverre migrerende vis in staat is kortdurende maar frequent voorkomende migratievensters kan benutten. Dit gedrag van intrekende vis is met name van belang bij de ingang van de koker, maar ook bij de inlaat in het IJsselmeer.

Daarnaast grijpen nog andere factoren in op het gedrag van vis, zoals versturende factoren. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in onnatuurlijke factoren, bijvoorbeeld structuren, verandering van lichtcondities, geluid etc. Natuurlijke factoren die het gedrag van vis kan beïnvloeden of verstoren zijn aanwezigheid van predatoren, of omstandigheden waarin vis zich kwetsbaarder voor predatie voelt. Daarnaast beïnvloedt predatie niet alleen het gedrag van migrerende vis, maar zorgt ook voor verliezen in aantallen en daarmee van de efficiëntie van de vispassage. Deze factoren worden in volgende paragrafen beschreven.

4.3.3 Belang van acclimatisering bij passeren zoet-zout overgangen

Het op orde brengen van de osmoregulatie is voor diadrome vis een belangrijke factor. Bij de overgang van zout naar zoet (of andersom) moet het lichaam van de vis de osmoregulatie op orde hebben om niet te sterven als gevolg van de veranderde omstandigheden. In de literatuur zijn veel onderzoeken over de fysiologische processen die een rol spelen bij osmoregulatie in diadrome vissoorten. Echter, in welk stadium of over welke tijd moeten vissen dit doen? Daar is, voor zover ons bekend, zeer weinig kennis over beschikbaar. Veelal is de osmoregulatie hormonaal aangestuurd (Wootton 1976, Lebel & Leloup 1992, Sakamoto et al. 1993). Bij de osmoregulatie zijn de darmen, de nieren en de kieuwen van groot belang (Lavery & Skadhauge 2012). Zo kan er eenmaal in het zoete water, water worden opgenomen via de kieuwen en dit water wordt uitgescheiden via de nieren als verdunde urine. De chloride cellen en de cellen met veel mitochondriën spelen een rol bij de actieve absorptie van NaCl om verliezen via diffusie te voorkomen (Lavery & Skadhauge 2012). De vraag is echter wanneer ze deze aanpassing doen en of hier een zoet-zout overgang voor nodig is zoals deze met de VMR deels kan worden geboden.

Er zijn onderzoeken gedaan met glasaal die uit een brak milieu (24‰) direct in een zoet milieu zijn gezet (Wilson et al. 2004). Hier bleek geen sterfte als gevolg van deze verplaatsing. Aan de andere kant is bij fintachtigen (*Alosa sapidissima*) grote sterfte gebleken na het overplaatsen van zout naar zoet water (Leggett & Oboyle 1976). Bij stekelbaars wordt de fysieke aanpassing voor de overgang gestimuleerd door omgevingsfactoren als temperatuur en daglengte en wordt op basis van hormonale processen gecontroleerd (Wootton 1976, Jonsson & Jonsson 2009a, - 2009b, Kitano et al. 2012). Het lijkt erop dat de hormonale regulatie van stekelbaars en het gevolg dat stekelbaars tolerant wordt voor een bepaald zoutgehalte eerder een trigger is voor stekelbaars om te migreren. Hiermee zouden zij relatief snel en al voorbereid een zoete omgeving aan kunnen, hetgeen ook bevestigd wordt in veel vispassage evaluaties (Bult & Dekker 2007).

Omdat de beschikbare gegevens beperkt zijn kunnen we slechts speculeren over de rol van acclimatisatie in de VMR. Vissen die sterk afhankelijk zijn van de zoete wateren voor opgroei of paai zoals zalm, zeeforel, zeeprik, rivierprik, spiering, aal, stekelbaars en houting zullen mogelijk sneller moeten kunnen overschakelen naar nieuwe omgevingsfactoren. Zalm passeert relatief snel een overgangswater, waar soorten als bot dit heel geleidelijk doen. Voor soorten als fint en elft die juist het estuarium gebruiken om te paaien zal een snelle overschakeling naar zoet water minder van belang zijn.

Aan de andere kant is het ook goed mogelijk dat de acclimatisatie van zout naar zoet al (ver) voor de overgang plaats kan vinden in het zoute water. Het brakke milieu in de VMR kan er voor zorgen dat soorten als bot en wellicht ook andere soorten zich kunnen aanpassen aan het zoete water. Witteveen+Bos (2009a, 2009b) speculeren dat spiering die van het zoute naar het zoete water is getrokken vlakbij de deuren blijft wachten om te wennen aan het zoete milieu en met een volgende spuicyclus alsnog worden 'uitgespoeld'.

4.3.4 Antropogene versturende factoren

Er zijn een aantal potentiële versturende menselijke factoren denkbaar die een rol kunnen spelen bij het passeren van vis via de VMR. De belangrijkste kandidaat factoren lijken onnatuurlijk licht/regime (kunstmatige verlichting of juist donkere tunnel), onnatuurlijk geluid (verkeer, schuifbediening), of onnatuurlijke substraten of structuren (betonnen wanden en bodem, stortsteen).

De rol van licht als versturende factor of als faciliterende factor.

Met betrekking tot licht als versturende factor voor vis migratie lijken verlichting van het spuicomplex en/of Afsluitdijk niet of nauwelijks van belang. De grootste vraagstukken lijken te liggen in de vraag of een 100 m lange donkere tunnel versturend zou kunnen werken, of dat er hier een natuurlijk lichtregime moet worden gehandhaafd.

Er zijn weinig studies naar de stroomopwaartse migratie door (onverlichte) tunnels. Voor volwassen Atlantische zalm wordt vaak aangegeven dat deze met name overdag actief is en derhalve wellicht minder goed donkere omstandigheden passeert (Rogers & Cane 1979). Er zijn een tweetal studies gevonden waarbij volwassen zalm donkere passages passeert. Rogers en Cane (1979) hebben gevonden dat zalm en zeeforel een 2.2 km lange, 6.25 m hoge en 5.5 m brede, donkere tunnel bij een reservoir met dam in Noord-Wales passeerden waar gemiddeld een tegenstroomsnelheid van 0.12 m/s stond, met maxima van 1 m/s bij de hoogste afvoeren. In Schotland in het stroomgebied van de Conon is passage van volwassen Atlantische zalm waargenomen in een 2.5 km lange onverlichte tunnel met een diameter van 3 m, die twee stuwmeren verbond bovenstrooms van 2 dammen met visliften (Gowans et al. 2003). De passeerbaarheid van een donkere tunnel, versus een tunnel met een natuurlijk lichtregime, lijkt voor de soorten, zoals glasaal en prikken, die met name 's nachts migratiegedrag vertonen geen probleem te vormen.

In Noord-Amerika wordt met betrekking tot lange duikers (> 50 m) aangeraden verlichting te overwegen, maar gebaseerd op soortspecifieke verschillen in dagritme van passage (Welton et al. 2002; Kemp et al. 2006; Stuart 1962), waardoor de mogelijkheid bestaat dat vis die overdag passeert niet een donkere duiker zou willen passeren. Deze hypothese moet nog worden onderzocht, maar verdient overweging (aanbeveling van de NMFS Southwest Region in 2001).

De rol van geluid als verstorende factor

Wat de verstorende werking is van geluid op vis is nog vrijwel onbekend (Slabbekoorn et al. 2010). Wel zijn er indicaties dat geluid van waterkrachtcentrales en gemalen vis kan afschrikken (van Keeken et al. 2010, Winter 2011). Voor de Afsluitdijk lijkt het niet erg aannemelijk dat geluid verstorend zou kunnen werken op de VMR.

Onnatuurlijke structuren

Of vis onnatuurlijke structuren zoals betonnen kokers accepteert als migratieroute is van belang. Gezien de ervaringen met veel technische vistrappen zoals de vispassage bij Geesthacht in de Elbe (Faller & Schwevers 2012) is deze zorg niet al te groot. Voor technische vistrappen lijken dimensies en turbulentie grotere verstorende factoren.

4.3.5 Predatierisico in vispassages

Tijdens de passage van het spuicomplex zijn de vissen kwetsbaar voor predatie voornamelijk doordat er grotere concentraties vis kunnen ontstaan (Dekker & van Willigen 1997, - 2000, Baumgartner 2006). Roofvissen, zeezoogdieren en jagende vogels worden daarom vaak in en rondom kunstwerken als stuwen, gemalen, waterkrachtcentrales en spuisluizen gezien. In de spui kom worden bijvoorbeeld zeehonden en bruinvissen waargenomen (pers. comm. beroepsvissers) die jagen op de aanwezige vis. Ook jagende vogels, zoals aalscholvers, vormen een bedreiging voor de aanwezige vis in de spui kom. Hoewel predatie een natuurlijk proces is wordt het risico door de barrière werking versterkt.

Visetende vogels zijn te verdelen in drie categorieën: duikende viseters, "vliegende" of vanuit de lucht stootduikende viseters en oevergebonden viseters (Tabel 4). Vogels gebruiken afhankelijk van de soort maar een gedeelte van de waterkolom. De fuut en de aalscholver zijn de enige twee vogelsoorten die een groot gedeelte tot de hele waterkolom gebruiken. Beide vogels zijn jaarrond aanwezig.

Tabel 3. Vogelsoorten die in het IJsselmeergebied voorkomen. De tabel geeft een overzicht van de belangrijkste soorten met de benutting van de waterkolom op zoek naar prooivissen.

Duikende viseters		Stootduikende viseters		Oevergebonden	
Fuut	Hele waterkolom	Visdief	Toplaag van water	Reigers	Oever
Aalscholver	Hele waterkolom	Kokmeeuwen	Toplaag van water	Lepelaars	Oever
Grote zaagbek	Bovenste waterlagen	Zwarte stern	Toplaag van water		
Middelste zaagbek	Bovenste waterlagen	Dwergmeeuw	Toplaag van water		
nonnetje	Bovenste waterlagen				

4.3.6 Vispassages als leefgebied

Bij het bepalen van de passage-efficiëntie is het van belang om te weten of vis de VMR niet alleen als corridor gebruikt, maar ook als leefgebied. Ogenscheinlijk lagere passage-efficiënties liggen dan in werkelijkheid veel hoger omdat de vis doelbewust voor langere tijd in de vispassage verblijft en (een deel van de vissen) niet gemotiveerd is om door te trekken. Daarnaast zijn brakke habitats met zoet-zout gradiënten erg zeldzaam geworden in de westelijke Waddenzee en kunnen deze een toegevoegde waarde hebben, niet alleen voor trekvis, maar ook voor zogenaamde estuariene vissoorten (zie Tabel 2). Of de VMR als leefgebied voor vissoorten kan fungeren, hangt af van de dimensies, substraat type, heterogeniteit in diepte en stromingscondities en dynamiek in zoet-zout gradiënten. Deze dynamiek zal in het buitengaats deel van de VMR hoger zijn dan in het binnengaats deel van de VMR.

Van de doelsoorten is het te verwachten dat driedoornige stekelbaars, bot, spiering, paling en houting de VMR ook als foerageergebied zullen kunnen benutten. Wellicht dat ook zeeforel en fint in de VMR gaat foerageren. Voor zalm, zeeprik, elft en rivierpik zal de VMR zeer waarschijnlijk geen leefgebied-functie vervullen en uitsluitend voor doortrek worden benut. Wellicht zal van de doelsoorten alleen de driedoornige stekelbaars de VMR kunnen gebruiken als paai- en opgroeigebied. De fint is veeleisender ten opzichte van het functioneren van een estuarien watersysteem.

Naast de migrerende doelsoorten zullen ook estuarien residente soorten als brakwatergrondel, dikkopje en puitaal, of mariene seizoensgasten of juvenielen van soorten als zeebaars, haring, sprat en diklipharer de VMR als leefgebied kunnen benutten. Over de grootte van de arealen die hiervoor nodig zijn en de dynamiek in zoet-zout gehalten die toelaatbaar is voor het lokaal settelen van deze soorten in de vismigratierivier is nog veel onbekend.

4.4 Passage efficiëntie in de huidige situatie bij spui-complex Kornwerderzand

Het percentage van het aanbod aan trekvis dat gemotiveerd is om naar binnen te trekken en het spuicomplex succesvol weet te passeren is een maat voor de passage efficiëntie van het spuicomplex in zijn huidige vorm en beheer kan worden uitgedrukt in welk. Dit passeren kan in de huidige situatie via verschillende routes:

- Via de spuiokers:
 - Tijdens het spuien. Met name aan begin en einde van een spui zijn er beperkte intrek mogelijkheden voor sterkere zwemmers zoals zalm, zeeforel en waarschijnlijk zeeprik. Zenderonderzoek met zalm en zeeforel bij de Afsluitdijk en de Haringvlietdam hebben dat aangetoond (bij de Vaate et al. 2003).
 - Via lekwater langs gesloten spuisluisdeuren. Wanneer het Waddenzeewaterpeil iets hoger is dan het IJsselmeerpeil kunnen kleine vissen theoretisch actief zwemmend tegen

een geringe lekstroom in. Wanneer het Waddenzee peil aanzienlijk hoger is kunnen ze meezwemmen met water dat naar het IJsselmeer lekt. Recentelijk is duidelijk geworden dat de spuisluisdeuren meer lekken dan lang was aangenomen (pers. comm. Bauke de Witte). Hoe groot de kieren zijn is niet goed bekend. Van de trekvisen lijkt dit alleen voor kleine vis een mogelijkheid, met name voor glasaal.

- Tijdens spuien maar tijdens afwijkingen in spuibeheer waarbij abusievelijk de spuisluizen iets eerder of later worden gesloten dan volgens het spuibeheerprotocol is vastgesteld, (bij een waterstand in de Waddenzee niet minimaal 10 cm lager dan op het IJsselmeer). Bij geringere waterstandverschillen, gelijke of zelfs iets hogere waterstanden aan de Waddenzeezijde dan het IJsselmeer kan sprake zijn van een korte periode van waterstroming naar het IJsselmeer toe. Dekker (2000) noemt deze mogelijkheid gebaseerd op incidentele waarnemingen van bijvoorbeeld kwallen, maar of deze 'inlaat-incidenten' zich (nog steeds) voordoen en hoe frequent is niet bekend.
- Via de scheepsluis:
 - Tijdens een schutting. Via de geopende deur kan vis naar binnen zwemmen. Er is niet bekend in welke mate en met welke efficiëntie trekvis gebruikmaken van scheepssluizen tijdens hun migratie. Wel zijn er, veelal slechts anekdotische, gegevens dat bijvoorbeeld aal en zalm scheepssluizen kunnen passeren zoals aangetoond voor bijvoorbeeld diverse scheepssluizen rond het Noordzeekanaal (van Wijk 2011), scheepssluizen in kanalen ten westen van Groningen (Winter et al. 2013), scheepssluizen in het lateraalkanaal van de Maas bij Roermond (Griffioen et al. 2014) en scheepssluizen in het Amsterdam Rijnkanaal (Griffioen et al. 2013). Het is aannemelijk dat een succesvolle migratie via scheepssluizen afhankelijk is van debiet, het aantal schuttingen per dag en nacht, de dimensies van de sluis en of het een sluis is die zoet water met zoet of zout water verbindt. Wanneer sprake is van een verschil in zoutgehalte aan weerszijden van de sluisdeuren zal bij opening van de deuren een tegenstroom ontstaat ontstaan met een zoetere bovenlaag stromend richting de 'zoutere' kant en een zoutere onderlaag richting de 'zoetere' kant (Winter 2011). Het is aannemelijk dat een verschil in zoutgehalte een gunstige invloed heeft op de passeerbaarheid van scheepssluizen omdat trekvis zich naast stroming ook oriënteert op zoet-zout gradiënten. Trekvisen zullen via de schutsluis naar binnen trekken bij Kornwerderzand, maar de verwachting is dat de spui kom een veel groter aanbod aantrekt dan de scheepvaartsluis en dat de passeerbaarheid beperkt is. Maar hiervan zijn geen onderzoeksgegevens beschikbaar.
 - Via lekwater langs gesloten scheepsluisdeuren. Zie hierboven bij spuisluizen.

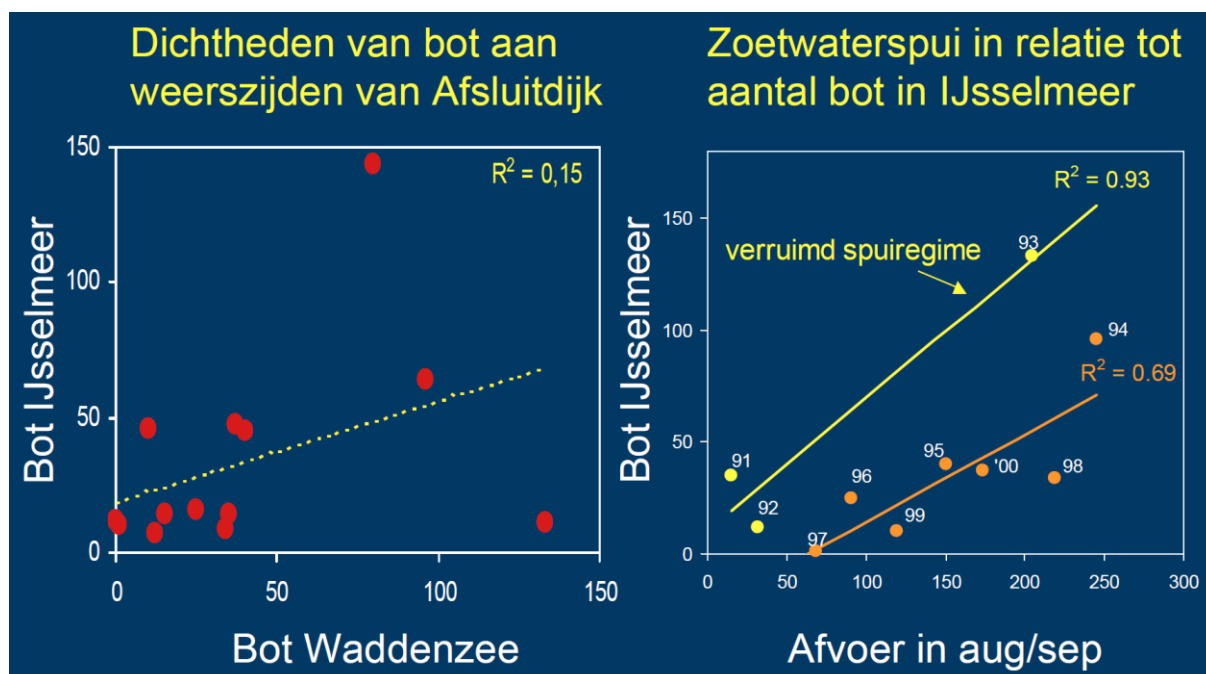
We weten dat in principe van alle trekvisen in de huidige situatie wel exemplaren vanuit de Waddenzee naar het IJsselmeer weten te passeren (Kuijs et al. 2012), maar welk deel van het aanbod hierin slaagt is onbekend. Alleen voor zeeforel is gericht zenderonderzoek uitgevoerd naar intrek succes bij de Afsluitdijk (bij de Vaate et al. 2003). Van december 1996 tot en met december 2000 zijn in totaal 70 zeeforellen in de Waddenzee voorzien van een transponder: 61 exemplaren in Kornwerderzand en 9 bij Den Oever. Hiervan trokken in totaal 33 exemplaren het IJsselmeer binnen, terwijl één exemplaar het zoete water introk via de Haringvliet. In totaal trok dus 49% van alle in de Waddenzee gemerkte vissen het zoete water in. Hierbij trokken vijf van de negen zeeforellen die bij Den Oever werden gemerkt bij Den Oever het IJsselmeer binnen (56%). Al deze vissen werden ook gedetecteerd in de IJssel, bij Kampen. Bij Kornwerderzand zijn 28 van de 61 zeeforellen die daar werden gemerkt ook bij Kornwerderzand het IJsselmeer binnenge trokken (46%). Hiervan zijn 20 zeeforellen ook in de IJssel bij Kampen waargenomen. Dit impliceert dat het slagingsrendement minimaal circa 50 % bedraagt. Wanneer een deel van de gezenderde zeeforel niet gemotiveerd was om naar binnen te trekken, bijvoorbeeld omdat deze bij de locatie was om te foerageren, dan zal het slagingspercentage nog hoger zijn dan 50 %. Zeeforel is samen met de zalm wel de sterkste zwemmer onder de doelsoorten voor de VMR.

Voor de overige soorten zijn alleen indirecte gegevens of indicaties van passage efficiëntie beschikbaar. Gebaseerd op merk-terug vangst proeven met gekleurde glasaal in 1996 en 1997 (Dekker & van Willigen 1996, - 1997) komen Dekker & van Willigen (2000) op basis van deductie tot de conclusie dat glasaal weliswaar een gemiddeld lange verblijftijd kent in de spuikom aan de buitenzijde van de Afsluitdijk, maar uiteindelijk pas in een laat stadium alsnog een hoge passage-efficiëntie behalen. De overwegingen die aan deze conclusie ten grondslag liggen waren:

- Lange verblijftijd in ordegrootte van weken met een grote lokale ophoping en een geringe nieuwe toevoer en doortrek van glasalen: gebaseerd op terugvangsten van gekleurde glasalen na 2 weken (wat niet was verwacht) en een gelijkblijvende fractie gekleurde glasalen gedurende de drie onderzochte nachten (waar een afname door nieuwe aanwas was verwacht).
- Weinig aanwijzingen voor tussentijdse sterfte of aanwezigheid van predatoren als roofvis.
- Het met merk-proef geschatte bestand aan glasaal bij Den Oever in de orde van grootte van 5-15 ton is in overeenstemming met de hoeveelheid glasaal die onder aanname van een overleving van 25 % tot maatse aal nodig is voor het bestand aan paling op het IJsselmeer.

Ons inziens worden mogelijke predatieverliezen te gemakkelijk terzijde geschoven, terwijl de verblijftijd van de glasaal hoog was en predatieverliezen zeer moeilijk te meten zijn. Daarnaast is de intrek via Kornwerderzand niet meegenomen, terwijl daar ook een vergelijkbaar groot aanbod aan glasaal lijkt te zijn. Hierdoor vinden wij de conclusie dat de glasaal uiteindelijk succesvol intrekt te stellig en staat de mogelijkheid dat de intrek efficiëntie veel lager is nog steeds open.

Gedurende de jaren 1991 – 1993 is er geëxperimenteerd met een verruimd spuiregime waardoor het waterniveau tussen zoet en zout gelijk was in plaats van een 10 cm verschil om zout water indringing te voorkomen. Tijdens deze jaren zijn er relatief gezien meer jonge bot het IJsselmeer binnen getrokken dan in andere jaren (Winter 2009, Figuur 4-6). Deze gegevens duiden op een sterke migratiebelemmering voor bot onder het huidige spuiregime.



Figuur 4-6. Dichtheden bot in het IJsselmeer in relatie tot dichtheden op de Waddenzee over de periode 1991-2000 (linker paneel) en de hoeveelheid gespuid water, waarbij onderscheid is gemaakt tussen jaren met het 'normale' spuiregime en de jaren 1991-93 (weliswaar $n=3$, maar allen boven de andere waarden) waarin er per getij iets langer is gespuid (tot gelijk waterniveau i.p.v. 10 cm beneden IJsselmeerpeil). Uit Winter (2009).

Voor spiering is op basis van microchemische analyse van gehoorsteentjes vastgesteld of spiering groei heeft gerealiseerd in zout of brak water (Tulp et al. 2013). Deze gehoorsteentjes (otolieten) zijn structuren die net als bomen langzaam aangroeien tijdens het leven en waarin groeiringen zijn waar te nemen. In zout water is de concentratie Strontium veel hoger dan in zoet wateren derhalve is de verhouding Strontium-Calcium in delen van de otolieten die tijdens groei op zout water zijn gevormd hoger dan die op zoetwater. Door vanaf de rand van de otoliet (meest recent gevormde deel) langs een straal naar het hart van de otoliet (gevormd direct na larvale stadium) de verhouding Strontium-Calcium te bepalen kan er terug worden gekeken in de tijd wanneer de spiering op zoet dan wel zout water groei heeft gerealiseerd. Hierbij zijn spieringen op het IJsselmeer, Markermeer en de Waddenzee geanalyseerd. Alleen bij de spieringen op de Waddenzee is zoutwatergroei gezien. Er is geconcludeerd dat spiering die groei heeft doorgemaakt op de Waddenzee in de huidige situatie geen of hooguit een zeer geringe bijdrage aan de populatie spiering levert. Dit is een aanwijzing zijn dat de totale passage efficiëntie van diadrome spiering die vanuit de Waddenzee naar het IJsselmeer trekt erg laag is.

Van de andere doelsoorten fint (sporadisch op IJsselmeer aangetroffen zou kunnen duiden op zeer lage passage efficiëntie, maar achterland is momenteel ook niet geschikt voor paai- en opgroei), zalm (lijkt aannemelijk dat passage efficiëntie minimaal even groot is als voor zeeforel), driedoornige stekelbaars (wordt nu in IJsselmeer slechts in zeer kleine aantallen en dan met name langs de oevers aangetroffen wat kan duiden op zeer lage passage efficiëntie), rivierprik (de intrek vindt grotendeels plaats buiten reguliere bemonsteringen en is daardoor vrijwel onbekend al weet een deel te passeren zoals blijkt uit waarnemingen aan binnenzijde, maar onbekend in welke mate) zijn geen gegevens over het totale passage rendement beschikbaar.



Spuisluizen bij Kornwerderzand tijdens het spuien bij laagwater (foto Ingrid Tulp)

5 Discussie van beschikbare kennis m.b.t. de realisatie van de VMR

5.1 Reflectie op de werkwijze binnen het bronnenonderzoek

Binnen dit onderzoek zijn verschillende typen bronnen geraadpleegd:

- Lokale en regionale onderzoeksrapporten
- Internationale wetenschappelijke publicaties
- Ongepubliceerde kennis of inschattingen van onderzoekers
- Kennis en ervaring van lokale beroepsvissers en beheerders

Elk van deze bronnen heeft een bijdrage geleverd aan de in dit rapport gepresenteerde kennis.

Internationaal gepubliceerde wetenschappelijke kennis van vismigratie bij locatie Kornwerderzand rond vismigratie is vrijwel niet aanwezig (Bij de Vaate et al. 2003). Lokale en regionale onderzoeksrapporten vormden daardoor grotendeels het startpunt van dit bronnenonderzoek. De monitoringsrapporten bij Kornwerderzand geven een goede indruk van het voorkomen en de timing van de meeste migrerende soorten, waarbij sommige soorten zoals rivierprik onderbelicht blijven, omdat de timing van de intrek voornamelijk plaatsvindt buiten de monitoring om. Daarnaast zijn er gerichte onderzoeken uitgevoerd:

- Naar uitspoeling en intrek van vis via spuikokers bij Kornwerderzand (Witteveen+Bos 2009)
- Onderzoek naar dichtheden in de tijd met merk-terugvangst proeven naar glasaal, met name bij Den Oever (Creutzberg 1959, - 1961, Dekker & van Willigen 1996, - 1997, - 2000).
- Telemetrisch onderzoek met zeeforel (bij de Vaate et al. 2003)
- Voorkomen migrerende vis op IJsselmeer (zeldzame vis IJsselmeer programma)

In lokale en regionale grijze literatuur is derhalve veel specifieke kennis over timing en voorkomen van vissoorten, uitspoeling van zoetwatervis en welke soorten nu het IJsselmeer bereiken. Het onderliggende gedrag van trekvis bij de Afsluitdijk is vaak niet rechtstreeks gemeten, maar er wordt aan de hand van de resultaten en patronen wel geïnterpreteerd wat het onderliggende gedrag van trekvis zou kunnen zijn.

In de wetenschappelijke literatuur hebben we met name breder toepasbare proceskennis gezocht: de rol van migratie voor populaties en soorten, zwemcapaciteiten voor verschillende stadia en temperaturen, oriëntatie en prikkels die bij migratiegedrag een rol spelen, versturende factoren en predatierisico's.

De gerichte vragen aan beroepsvissers (gebr. van Malsen en Gerard Manshanden) hebben lokale kennis en ideeën boven water gehaald die niet of nauwelijks in rapportages of publicaties beschikbaar was. Dit betrof met name het voorkomen van concentraties van specifieke vissoorten in de tijd. Ook van het voorkomen van potentiële predatoren zoals visetende vogels, zeezoogdieren en roofvis zijn waardevolle waarnemingen en inschattingen gekregen. Over het onderliggende gedrag van vis waren wel ideeën beschikbaar maar dit zijn speculatieve inzichten, wat de beroepsvissers zelf ook aangeven. De overeenkomsten in waarnemingen en inzichten van de geraadpleegde beroepsvissers was groot.

Gerichte vragen over sluisbeheer en zoet-zout dynamiek bij Kornwerderzand aan de beheerder Rijkswaterstaat (Bauke de Witte) heeft veel bruikbare gegevens en inzichten opgeleverd die of niet gepubliceerd waren, of verspreid over veel interne rapporten of beheersplannen.

Gerichte vragen aan regionale onderzoekers heeft zowel enige ongepubliceerde kennis opgeleverd, bijvoorbeeld rond acclimatisatievermogen van driedoornige stekelbaars (George Wintermans en Peter Paul Schollemma), als enkele relevante nog niet bij ons bekende grijze literatuur.

De gerichte vragen aan de internationale onderzoekers leverde niet veel ongepubliceerde kennis op. Minder goed gefundeerde ideeën en hypothesen van onderzoekers zijn vaak ook gepubliceerd in meer

opiniërende artikelen. Wel gaven zij een bevestiging voor de kennis die we via grijze en wetenschappelijke literatuur bijeen hadden gebracht en voor de kennisleemtes die we hadden geïdentificeerd. Als check op de compleetheid van het bronnenonderzoek was de consultatie van externe onderzoekers zeker van waarde.

Als check op de literatuurzoekacties binnen Web of Science en Scopus zijn er steekproefsgewijs zoekacties in AFSA uitgevoerd. Deze leverden een aantal publicaties op ter verbreding van de rapportage, maar hebben geen publicaties opgeleverd ter verdieping van de vastgestelde kennislücken.

5.2 Kennislücken en overwegingen in relatie tot de VMR

Binnen dit bronnenonderzoek zijn een aantal leemtes in benodigde kennis naar voren gekomen:

- Soortspecifieke passage efficiëntie in de huidige situatie
- Ruimtelijk zoekgedrag: soortspecifiek op welke schaal?
- Benutting van kortdurende migratievensters
- Acclimatisatie-eisen van vis bij zout-zoet overgangen
- Predatieverliezen en -risico's
- Areaalgroottes en zoet-zout dynamiek die nodig zijn om zoet-zout overgangen ook als leefgebied te benutten.
- Rendement van afzonderlijke herstelmaatregelen voor verschillende populaties

Deze worden hieronder verder besproken.

5.2.1 Passage efficiëntie van intrekkende vis bij Kornwerderzand

Momenteel zijn er alleen voor zeeforel directe telemetrische metingen beschikbaar die duiden op een passage efficiëntie van tenminste 50 %. Omdat zeeforel ook foerageert langs de kust en in de spuikom van Kornwerderzand en Den Oever kan het zijn dat niet alle gezenderde zeeforellen gemotiveerd waren om naar binnen te trekken en is het passage efficiëntie dan zelfs hoger dan 50 %. Dit onderzoek is gebaseerd op relatief weinig zeeforellen (n=69) ten opzichte van de telemetrie-gegevens die bij Haringvliet voor Zalm en Zeeforel zijn verzameld. Zalm en zeeforel zijn van alle doelsoorten de soorten met de grootste zwemcapaciteit en het ligt in de verwachting dat de passage-efficiënties van andere soorten lager liggen dan voor deze soort. Zeker voor spiering, bot en driedoornige stekelbaars zijn er aanwijzingen dat de huidige passage-efficiëntie bij het spuicomplex Kornwerderzand erg laag is. Zie 4.4 voor een meer gedetailleerde bespreking hiervan.

Om de meerwaarde van de VMR te bepalen ten opzichte van de huidige situatie en in relatie met Visvriendelijk spui-beheer is het van belang hier meer inzicht in te krijgen.

5.2.2 Ruimtelijk zoekgedrag van vis

Er is voor de doelsoorten weinig bekend over zoekgedrag in lokale en regionale publicaties. Alleen voor zeeforel en glasaal zijn resultaten beschikbaar die impliceren dat er voor deze beide soorten vrijwel geen grootschalig zoekgedrag plaatsvindt tussen de complexen Den Oever en Kornwerderzand. Eenmaal aangekomen bij één van beide complexen lijken deze soorten vooral ter plaatse te proberen in te trekken. Bij glasaalonderzoek bij Den Oever is waargenomen dat er langere verblijftijden, meer dan twee weken, optreden en zijn er aanwijzingen dat glasaal zich ook binnen het spuicomplex op kleine schaal beweegt (Dekker & van Willigen 1997, 2000). Ook in de internationale wetenschappelijke literatuur is weinig over zoekgedrag bij zoet-zout overgangen beschikbaar. Dit is bevestigd door geraadpleegde experts. Dit heeft twee oorzaken: barrières in zoet-zout overgangen zijn wereldwijd minder veel voorkomend dan barrières op zoet stromend water en onderzoek naar zoekgedrag is niet eenvoudig,

zeker voor kleinere vissoorten. Om zoekgedrag te onderzoeken moeten namelijk individuele vissen in hun gedrag gevolgd kunnen worden. Voor grotere vis zijn hiervoor zendertechnieken beschikbaar. Voor kleinere vis zijn nauwelijks goede technieken beschikbaar. Merk-terugvangst experimenten zoals met gekleurde glasaal (groepsmerk) en momenteel wordt uitgevoerd met rivierprik bij Kornwerderzand (individuele PIT-tags) kunnen dan inzicht verschaffen in verblijftijden en verplaatsingen, maar het levert veel minder waarnemingen en patronen op dan met zenderonderzoek.

Gebaseerd op de zwemmogelijkheden van vis en de mate waarin bepaalde vissoorten in natuurlijke ongestoorde omstandigheden voordeel heeft gehad bij het ontwikkelen van zoekgedrag lijken de volgende uitgangspunten aannemelijk, al is daar weinig gericht onderzoek voor beschikbaar:

- Vis met weinig zwemcapaciteiten zoals bot- en haringlarven, glasaal en driedoornige stekelbaars zullen voornamelijk gebruik maken van selectief getijdetransport en hebben daarboven slechts beperkte mogelijkheden tot grootschalig zoekgedrag.
- Vis met veel zwemcapaciteit zoals zalm, zeeforel, fint, elft en zeeprik zullen vanuit energiebeperking zoveel mogelijk gebruik maken van selectief getijdetransport, maar zijn ook in staat tot grootschalig zoekgedrag.
- Vissoorten die niet ver landinwaarts in stroomgebieden intrekken, zoals fint (tot zoetwater-getijdegebied), spiering, bot en driedoornige stekelbaars zullen onder natuurlijke omstandigheden in estuaria en benedenlopen van rivieren niet met migratiebarrières zijn geconfronteerd en het ontwikkelen van grootschalig zoekgedrag is nooit nodig geweest voor deze soorten.
- Voor vissoorten die wel ver landinwaarts tot diep in stroomgebieden van rivieren optrekken zal zoekgedrag bij barrières naar passeerbare routes bij bijvoorbeeld stroomversnellingen en vertakkingen voordeel hebben geboden om stroomopwaarts te geraken.

Er is weliswaar weinig bekend over zoekgedrag naar passeerbare routes dan wel ter plekke blijven in afwachting van gunstigere omstandigheden om te migreren (behalve in onderzoek naar selectief getijdetransport), maar een aantal overwegingen en factoren rond de VMR hebben zeer waarschijnlijk een positief effect op de passage-efficiëntie:

- De buitengaatse ingang van de VMR is continu open en heeft een natuurlijk stromingsregime: instromend water tijdens het tweede deel van het opkomend tij waarmee vis naar binnen kan liften en wat timing betreft gelijk loopt met selectief getijdetransport (Figuur 2-4, fase 5 en 6); en een uitstromende zoete lokstroom tijdens afgaand tij en de eerste helft van opkomend tij wat migrerende actieve zwemmers zou kunnen aantrekken (figuur, fase 1-4).
- Zowel voor als na het spuien via de spuisluizen is er een fase (Figuur 2-4, 1 en 4) dat de ingang van de VMR de enige lokstroom in de spui vormt. Of deze periode lang genoeg is om voldoende actieve zwemmers in de spui aan te trekken is onbekend. Maar vis heeft meerdere tijden deze kans.
- Tijdens het spuien via de spuisluizen is de lokstroom uit de VMR verhoudingsgewijs erg klein. Daar staat tegenover dat de stroomsnelheden in de 'spui-pluim' te hoog zijn om tegen in te zwemmen en actief zoekende vis vooral de randen met scherpe stroomsnelheidsgradiënten zullen volgen. Hier kan de lokstroom van de VMR op aansluiten.
- Eenmaal in de VMR is er een lang traject (2 km in de voorkeursvariant in de Haalbaarheidsstudie) waarin vis onder relatief natuurlijke stromingscondities vrij op kan trekken tot de ingang van de koker. Hier komen ze dan ofwel tijdens een venster in de tijd aan dat de koker direct passeerbaar, of ze arriveren in een periode met niet passeerbare stromingscondities en moeten beslissen om te wachten (wat het meest vermoedelijke scenario is voor kleine vis die met selectief getijdetransport de VMR is ingekomen), of te gaan zoeken (wat sommige sterkere zwemmers wellicht zullen gaan doen). Wachten op een volgend tij zal tot succes leiden, want elk tij komt er weer een nieuw intrekvenster. Vis die eventueel gaat zoeken komt in het lange traject van 2 km in de buitengaatse VMR geen

alternatieve maar doodlopende stromen tegen zoals in de spuikom wel het geval is (en hebben dan dus ook geen 'last' van de aantrekkende werking van de spuisluizen meer). Bovendien zijn de stromingscondities in de buitengaatse VMR gedurende het getij relatief natuurlijk wat de kans op een goede IJsselmeergerichte oriëntatie zal vergroten. Alleen bij zeer grootschalig zoekgedrag waarbij vis binnen een tijdje weer 2 km terug zwemt naar de spuikom krijgt het pas te maken met andere lokstromen.

5.2.3 *Benutten van kortdurende migratievensters*

Van nature zijn vissoorten die estuaria en zoet-zout overgangen passeren ingesteld om migratievensters in de tijd te kunnen benutten: het Selectief Getijdetransport is bij uitstek migratiegedrag waarbij de migratievensters in het getij optimaal worden benut. De vraag is in hoeverre vis ook in staat is om bij onnatuurlijke barrières per getij ook korter durende migratievensters (van soms maar enkele minuten) of juist minder goed voorspelbare en minder frequent voorkomende migratievensters, zoals schuttingen bij scheepsluizen, of onbedoeld inlaten van water als gevolg van handmatige bediening te benutten.

Ondanks dat er weinig bekend is over het benutten van kortdurende migratievensters (Mouton et al. 2011), zijn er wel duidelijke verschillen in de migratievensters zoals die zich voordoen tijdens het spuien in de spuisluizen en in de koker in de VMR. Zo zijn de spuivensters in de koker langer dan in de spuisluizen (in voorkeursvariant 53% van de tijd voor de koker tegen 36 % van tijd voor de spuisluizen). Verder zijn de maximale stroomsnelheden veel geringer in de koker (2 m/s) dan in de spuisluizen (> 4 m/s). De koker onder de Afsluitdijk is passeerbaar voor alle vis, alleen de duur van de vensters varieert afhankelijk van het gedrag en de zwemcapaciteit van de vissoort. Waar in de spuisluizen alleen de sterkste zwemmers (zoals zeeforel en zalm) beperkte migratievensters hebben, zal veel andere zwakker zwemmende vis deze migratievensters niet kunnen benutten. Daarnaast is het een belangrijk verschil dat de spuikom veel dynamischer is gedurende het getij en dat de kans op het tijdig opmerken van de zeer korte migratievensters die zich voordoen in de spuisluizen wellicht veel lager is dan het opmerken van de migratievensters in de VMR-koker, waar de stromingsdynamiek tijdens het getij veel geringer is en de omvang van het 'zoekgebied' geringer.

Punt van aandacht is de inlaat van de VMR aan de IJsselmeerzijde. Deze is in de doorgerkende variant in de haalbaarheidsstudie een relatief groot deel van de tijd gesloten (68 %) en hier zou dan naar het IJsselmeer gerichte stroming plaatsvinden. Voor actieve zwemmers zal dit zeer waarschijnlijk niet tot problemen leiden, maar voor de vissen die middels selectief getijdetransport de VMR passeren zou dit wellicht beperkend kunnen werken. In het IJsselmeer kunnen deze soorten zich in het stagnante water alleen verspreiden via actieve dispersie, omdat hier het selectief getijdetransport wegvalt. Maar of de tijdsvensters met een open stagnante verbinding (die zich in het huidige regime nauwelijks voordoet), of tijdens zeer zwak stromend water in de inlaat, voldoende is om deze dispersie mogelijk te maken is de vraag. Langer openstaan van de inlaat zal beter zijn voor vismigratie, permanent open het beste.

5.2.4 *Acclimatisatie bij zout-zoet overgang*

Er is veel literatuur over de fysiologische mogelijkheid om tussen zoet en zout water te migreren, maar of er acclimatisatie nodig is en zo ja hoe lang en welke zoet-zout gradiënten daar voor nodig zijn is grotendeels onbekend. Volwassen salmoniden en glasaal zijn in staat snelle overgangen van zout naar zoet te overbruggen (zie hoofdstuk 3). Trekkende driedoornige stekelbaars lijkt ook zeer snelle overgangen van zout naar zoet te kunnen overleven (persoonlijke observaties George Wintermans). Alleen voor de Noord-Amerikaanse en nauw met fint en elft verwante fint-achtige *Alosa sapidissima* is onderzoek uitgevoerd naar belang van acclimatisatie. Met telemetrie is waargenomen dat volwassen vis met de getijdebeweging heen en weer migreerde en zodoende in een gelijkblijvende zout-zoet gradiënt verbleef, wat de onderzoekers relateerden aan acclimatiseren aan zoeter water (Dodson et al. 1972). Zij

hebben dat vervolgens experimenteel getest met overzettingsproeven van zout naar zoet water en hier vonden zij hoge sterfte onder deze fint-soort (Leggett & Oboyle 1976).

Voor de overige soorten is de noodzaak en benodigde duur van acclimatisatie onbekend. Aangezien kleine vis of vislarven (bijvoorbeeld bot of haring) een relatief groot huidoppervlak hebben ten opzichte van hun inhoud, en bovendien minder goed ontwikkelde nier- of andere bij de osmoregulatie betrokken orgaanfuncties, lijkt het aannemelijk dat een meer geleidelijke aanpassing aan zout-zoet gradiënten voor de kleine vissoorten en jonge levensstadia het meest waarschijnlijk is.

Geraadpleegde experts uit Duitsland, België en Noord-Amerika bevestigen dat er weinig onderzoek naar noodzaak en duur van acclimatisatie beschikbaar is. Beschikbare informatie is beperkt tot experimenten met juveniele stadia van een paar soorten, met name salmoniden soorten ('smolts') en Noord-Amerikaanse steursoorten, die vanuit zoetwater naar zee migreren. Over de noodzaak en duur van acclimatisatie tijdens intrek vanuit zee naar zoetwater is veel minder kennis voorhanden.

5.2.5 Predatieverliezen en -risico's

In de literatuur is erg weinig te vinden over predatieverliezen tijdens de intrek van migrerende vis van zout naar zoet. De meeste studies gaan over stroomafwaartse migratieverliezen door predatie voor bijvoorbeeld salmonide smolts. Door de interviews met de lokale vissers is er wel zicht op het voorkomen van visetende vogels, zoals aalscholvers en meeuwen, en zeezoogdieren zoals zeehonden. Van het voorkomen van roofvis rondom het spuicomplex van Kornwerderzand is minder bekend, al kunnen de fuikvangsten uit het monitoringsprogramma diadrome vis aan de buitenzijde hierin meer inzicht geven, dit wordt in een aanvullend onderzoek in het kader van de VMTR nog verder uitgewerkt in 2014. De fuiken staan alleen in de ondiepere delen, over de diepere delen (zie Figuur 4-5) is geen informatie beschikbaar.

Om vooraf de predatierisico's in de verschillende delen van de VMR in te schatten is niet eenvoudig. Koppeling van de zoet-zout dynamiek in de deelsegmenten en de zouttoleranties van mariene en zoetwaterroofvis kunnen wellicht aangeven of deze roofvissen zich ook in de VMR kunnen handhaven.

Wat belangrijk is, is dat de predatieverliezen in de VMR in een bredere context worden bekeken. Hier gaat hierbij om een netto balans op het gehele spuicomplex-niveau: predatierisico in VMR versus in spuirom. Overall predatie verliezen van migrerende vis zijn de resultante van verblijftijd in spuirom * predatiekans spuirom + verblijftijd in VMR * predatiekans VMR. Als de VMR de migratiemogelijkheden verbetert zal de verblijftijd in spuirom veel kleiner worden en derhalve de ophoping en het predatierisico in de spuirom afnemen.

5.2.6 Dimensies en omstandigheden waarbij VMR ook leefgebied kan zijn

Over de benodigde dimensies, dynamiek in zoet-zout gradiënten, en diversiteit van de habitats in relatie tot opgroei- of zelfs paaifunctie is weinig bekend. Fint heeft een morfologisch en intact functionerend estuarium nodig voor paaifunctie en het lijkt niet waarschijnlijk dat dit van voldoende kwaliteit en omvang in de VMR kan worden gerealiseerd. Voor kleine estuariene soorten als bijvoorbeeld dikkopje, brakwatergrondel, puitaal levert de VMR als leefgebied wellicht wel voldoende areaal en zoet-zout gradiënten.

5.2.7 Kennisleemtes en overwegingen m.b.t. uitspoeling zoetwatervis

Terugkeergarantie voor uitgespoelde vis lijkt een onmogelijk te vervullen eis. Er zal hooguit een deel terug kunnen trekken via de VMR. Uitgespoelde vis komt in een omgeving met een zeer dynamisch zoet-zout regime dat sterk fluctueert gedurende de getijdencyclus. Hierdoor zal zoetwatervis vaak maar korte

tijd beschikbaar hebben om weer in het IJsselmeer te geraken. In hoeverre zoetwatervis in staat is om zoekgedrag in deze stressvolle omgeving te vertonen is onbekend. Een andere factor hierbij is het verplaatsen van de zoetwater-spuipluim die zich met getij als zoetwaterbel langs Friese Kust beweegt. Hierdoor kan vis als het ware gevangen raken in een zoetwaterbel die hen buiten het spuicomplex voert en waardoor terugkeer onmogelijk wordt.

Uitspoeling lijkt niet gedurende het gehele jaar in dezelfde mate plaats te vinden, waarbij vooral gedurende het najaar relatief veel uitspoeling van jonge vis plaats vindt. Dit duidt er op dat veel van de uitspoeling kan zijn veroorzaakt doordat vis in een bepaalde periode in het jaar gericht op zoek is naar benedenstroomse habitats (zoals wellicht voor pos in het najaar het geval is).

Verder is er debat over hoe groot het uitspoelprobleem daadwerkelijk is, de meningen lopen uiteen van marginaal tot substantieel tot tientallen procenten. Feit is dat er ondanks dat uitspoelen al in dezelfde mate sinds 1932 plaatsvindt, er ook perioden zijn geweest met zeer gezonde visstanden op het IJsselmeer. Overbevissing en regimeverandering in het IJsselmeer lijken van grotere invloed op de zoetwatervisstanden op het IJsselmeer dan het uitspoelen van een deel van de jonge vis.

Tenslotte is er zeer weinig bekend over hoe lang een zoetwatervis aan de buitenzijde kan overleven, hoe goed de conditie dan nog is en of ze nog in staat zijn op zoek te gaan naar zoeter water.

5.3 Factoren die de toegevoegde waarde van de VMR bepalen

De toegevoegde waarde van de VMR voor verbetering van de migratie van de doelsoorten hangt af van de mate waarin de vismigratie in de huidige situatie belemmerd is en hoe groot de attractie- en passage-efficiëntie van de VMR is. Deze zal verschillend zijn voor de diverse doelsoorten. Daarnaast kunnen ook andere vissoorten, zowel zoutwatersoorten die ook brak- of zoetwater kunnen benutten als zoetwatervissoorten die uitspoelen naar de buitenzijde van Kornwerderzand, profiteren van de verbeterde migratiemogelijkheden die de VMR hen biedt. Ten slotte ligt er potentiële toegevoegde waarde in het beschikbaar komen van brakwater-habitats die de VMR biedt en die met het gereed komen van de Afsluitdijk als habitat in dit gebied zijn verdwenen.

Om de toegevoegde waarde van de VMR te kunnen bepalen is het allereerst noodzakelijk om de overall passage efficiëntie in de huidige situatie voor elk van de doelsoorten te weten. Dit is helaas niet het geval (zie 4.4 voor uitgebreide bespreking hiervan). De inschattingen of onbekendheid van het huidige passage succes is samengevat weergegeven in Tabel 5. In 2014 wordt nader onderzoek bij Kornwerderzand uitgevoerd waaruit aanvullende kennis beschikbaar kan komen.

Aangezien de omstandigheden in de VMR gedurende elke getijcyclus tenminste voor een deel van de tijd zeer gunstig zijn voor succesvolle passage, en deze omstandigheden wat prikkels betreft zeer vergelijkbaar zijn met natuurlijke omstandigheden in getijdewateren is het de verwachting dat eenmaal in de VMR de passage efficiëntie voor alle doelsoorten zeer hoog zal zijn.

Met betrekking tot de attractie-efficiëntie is meer onbekendheid. De verwachting is dat deze zeker een redelijk deel van het aanbod kan faciliteren. Er gaat een zoetere lokstroom debiet van 10-20 m³/s uit de VMR komen, die ook enige tijd voor en na een spui de enige lokstroom in de spui is. Wanneer de ingangen goed aansluiten bij concentraties kleine vis die vooral via Selectief Getijden Transport de VMR in trekken, zal de verwachte attractie efficiëntie hoog kunnen zijn. Afhankelijk van de uitvoering en in welke mate het beheer van de VMR-ingang(en) en het sluisbeheer kan worden geoptimaliseerd met voortschrijdend inzicht en proefondervindelijke ervaringen opgedaan na realisatie is deze als matig tot hoog ingeschat voor de diverse soorten. In 2014 komt er middels diverse aanvullende onderzoeken bij Kornwerderzand m.b.t. de VMR nieuwe kennis beschikbaar. Tabel 5 kan met die nieuwe kennis verder 'up

to date' worden gebracht. Veel overwegingen en inschattingen in tabel 5 hebben bij gebrek aan beschikbare kennis momenteel een sterk speculatief karakter.

Tabel 5: Overzicht van de inschatting van verwachte toegevoegde waarde van de vismigratierivier (VMR) per doelsoort of vissoortengroep. Door de huidige stand van kennis hebben veel inschattingen een hoog speculatief gehalte.

Soort	Passage succes huidige situatie	Attractie efficiëntie ingang VMR*	Passage efficiëntie in VMR	Toegevoegde waarde brakwater-gebied	Verwachte bijdrage VMR aan populatie
Doelsoorten					
<i>Steur</i>	<i>onbekend</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>zeer gering</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Zalm</i>	<i>> 50 %</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>zeer gering</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Bot</i>	<i>laag</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog**</i>	<i>wellicht nodig voor acclimatisatie bot-larven, enig extra foerageergebied</i>	<i>substantiële bijdrage</i>
<i>Driedoornige stekelbaars</i>	<i>laag</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>enig extra leefgebied, acclimatisatie gering</i>	<i>substantiële bijdrage</i>
<i>Elft</i>	<i>onbekend</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>wellicht voor acclimatisatie</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Aal</i>	<i>matig – hoog?</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>enig extra leefgebied, noodzaak acclimatisatie gering</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Fint</i>	<i>onbekend</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>enig extra foerageergebied, voor paai en opgroei onvoldoende</i>	<i>zeer gering</i>
<i>Houting</i>	<i>matig?</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>enig extra foerageergebied</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Rivierprik</i>	<i>onbekend</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>Zeer gering</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Spiering</i>	<i>laag</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>enig extra foerageergebied</i>	<i>substantiële bijdrage</i>
<i>Zeeforel</i>	<i>> 50 %</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>enig extra foerageergebied</i>	<i>draagt bij</i>
<i>Zeeprik</i>	<i>Matig > 50 % ?</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>zeer hoog</i>	<i>zeer gering</i>	<i>draagt bij</i>
Overige soorten					
<i>Estuarien resident</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>hoog</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>groot, benodigde areaal onbekend</i>	<i>substantiële bijdrage***</i>
<i>Marien juveniel</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>extra opgroei-gebied</i>	<i>zeer gering</i>
<i>Marien seizoensgast</i>	<i>veelal laag</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>hoog</i>	<i>extra foerageergebied</i>	<i>zeer gering</i>
<i>Zoetwatervis</i>	<i>Zeer laag</i>	<i>laag-matig</i>	<i>matig-hoog</i>	<i>geen</i>	<i>zeer gering</i>

* Dit zal afhangen van de uitvoering en mogelijkheden tot optimaliseren met voortschrijdend inzicht na realisatie in relatie tot beheer van ingang(en) van VMR en spuibeheer

** mits de IJsselmeer ingang van de VMR geen beperking voor intrek oplevert, wat zeker als er op zoutgehalte gestuurd gaat worden minder het geval zal zijn (zie verder discussiëren voorgestelde oplossingen in 6.6)

*** Zeker voor kleine soorten die geringer areaal aan leefgebied nodig hebben

6 Aanbevelingen en toetsing van de ontwerpeisen voor de VMR

Dit hoofdstuk beschrijft aanbevelingen voor de VMR vanuit de vis bekeken. Hierbij is uitgegaan van de volgende informatie:

- het ecologische programma van eisen en specifieke ontwerpeisen zoals in de haalbaarheidsstudie van de VMR zijn opgesteld en welke zijn weergegeven in hoofdstuk 2.
- het gedrag en het voorkomen van de vis zoals deze in het bronnenonderzoek in de hoofdstukken 3 en 4 is beschreven.

Bij het beschrijven van de aanbevelingen wordt de intrekende vis gevolgd vanaf het arriveren in of bij de spuikom en het vinden van de ingang van de VMR (6.1), het passeren van de ingang van de VMR aan de Waddenzee zijde (6.2), het bewegen in de VMR aan de Waddenzee zijde (6.3), het passeren van de koker in de afsluitdijk onder de weg door (6.4), het bewegen in de VMR aan de IJsselmeerzijde (6.5) en uiteindelijk het passeren van de afsluiter van de VMR (6.6).

De VMR moet een robuuste ecologische verbinding vormen tussen de Waddenzee en het IJsselmeer die geschikt is voor de intrek van een brede groep trekvis. Naast de doelsoorten zoals genoemd in de haalbaarheidsstudie (PNRW, 2013) hebben we voor het bronnenonderzoek ook de Atlantische steur nadrukkelijk als doelsoort mee genomen. Deze is weliswaar uitgestorven in Nederland, maar behoort tot de inheemse visfauna. De VMR beoogt een robuuste verbindingzone te zijn voor de lange termijn, waarbij het denkbaar is dat de Atlantische steur in de toekomst weer een levensvatbare populatie in het Rijn-stroomgebied zou kunnen opbouwen. De eerste initiatieven hiervoor zijn inmiddels gestart (Houben et al. 2012).

De dimensies van de Vismigratierivier zoals geschetst in de voorkeursvariant zijn wereldwijd uniek voor een vispassage: 6 km lang, 10-20 m breed met een koker van 100x5x2 m door de Afsluitdijk. Een andere factor die de Vismigratierivier uniek maakt is het feit dat er een deel van de tijd een ingaande waterstroming vanuit de Waddenzee richting IJsselmeer stroomt die vissen die gebruik maken van het selectief getijdetransport faciliteert. Van grote vispassages die bij zoet-zout overgangen liggen en onderhevig zijn aan getijdewerking bestaan weinig voorbeelden. In de Elbe bij de stuw Geesthacht is in Augustus 2010 de grootste vispassage van Europa gebouwd: een '*double vertical slot*' passage aan de Noordoever. Aan de Zuidoever lag al sinds 1998 een meer natuurlijke vispassage met veel geringer debiet. Omdat de nieuwe Geesthacht vispassage in de getijden invloedsfeer ligt (weliswaar veel meer in het zoetwatergedeelte van de rivier dan de VMR) en de doelsoorten grotendeels overeenkomen (waarbij de steur ook nadrukkelijk als doelsoort voor deze passage is gekozen) met de soorten voor de VMR hebben we uit verschillende Duitstalige bronnen (Menzel & Schwevers 2012a, 2012b, Lehmann et al. 2012, Schwevers & Neumann 2012, Adam et al. 2012) een samenvatting van de ontwerpeisen, dimensies, ecologische randvoorwaarden en eerste onderzoeksresultaten en ervaringen gemaakt in onderstaande tabel. De gekozen kengetallen kunnen meegenomen worden in de overwegingen rond de VMR.

Monitoringen van de beide vistrappen bij Geesthacht, de nieuwe grote Vertical Slot passage aan de oostelijke oever en de oude meer natuurlijke vispassage aan de westelijke oever, laten grote aantallen passerende vis zien (Adam et al. 2012). Tijdens augustus 2010-juli 2011 zijn via de Vertical Slot afgerond aan diadrome soorten: 150.000 driedoornige stekelbaarzen, 70.000 rivierprikken, 7.000 spiering, 7.000 aal, 169 zeeforel, 120 zeebek, 111 zalm, 2 houting, 2 Siberische steur (kan als modelsoort voor potentiële passage Atlantische steur worden opgevat), 1 bot gepasseerd. In de natuurlijke kleinere vispassage lagen deze aantallen veel lager, met uitzondering van aal en zeeforel waarvoor de aantallen ongeveer even groot waren. Uitgebreid PIT-tag onderzoek naar diadrome en riviervissoorten in beide vistrappen bij Geesthacht (Faller & Schwevers 2012) laat zien dat er geen 'oever-effect' is, dat wil zeggen dat vis langs de ene oever uitgezet evenveel kans heeft om in één van

beide vistrappen terecht te komen dan langs de andere oever. Er was wel een soortspecifiek 'voorkeur' voor vistrap. De fractie van de met een PIT-tag uitgeruste diadrome vis die werd waargenomen in één van beide vistrappen verschillende sterk per soort: 43% voor rivierprik en zalm, 24% voor zeeforel, 12% voor zeebek en 10 % voor houting. De auteurs duiden dit aan als hoge percentages, maar ons inziens suggereert dit op een relatief lage attractie-efficiëntie.

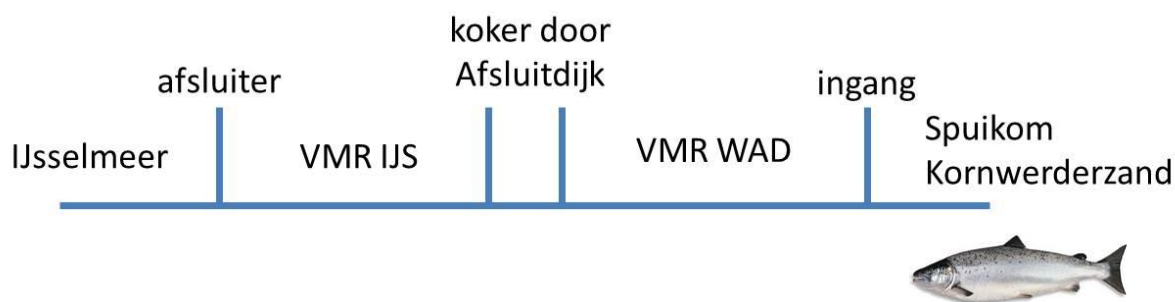


Luchtfoto van de vispassage Geesthacht in de Elbe

Tabel 6: Samenvatting van de ontwerp-eisen, dimensies, ecologische randvoorwaarden en eerste onderzoeksresultaten en ervaringen

Factor	Ontwerp-eis	Technische uitwerking vispassage Geesthacht
Vindbaarheid ingang	Hoge attractie-efficiëntie	Locatie van de ingang dichtbij de oever, zodanig dat er geen 'dode hoeken' ontstaan Op gelijk niveau met de rivierbodem, Vier extra lokstromen gesitueerd ter overbrugging tussen de stuw en de ingang van de vistrap
Stroomsnelheden ingang	Passeerbaar voor kleine vis	Maximaal 0.75 m/s
	Aantrekkelijk voor salmoniden	Minimaal 0.15-0.30 m/s gedurende tenminste 300 dagen
Dimensies ingang	Groot genoeg voor steur van 3 m	4,5 m breed, waterdiepte 1.75 m bij laagwater
Debieten	Ca 10 % van laagwaterafvoer Elbe	Minimaal 13 m ³ /s, waarvan 5,6 m ³ /s via vistrap en de rest via extra toegevoegd debiet op verschillende plaatsen in de vistrap (regelbaar). Dit maakt debietregeling onafhankelijk van de getijdencyclus
Passeerbaarheid vispassage	Maximaal 1,5 m/s in slots	Hoogteverschil in waterniveau tussen bekkens 0.09 m
Dimensies vispassage	Groot genoeg voor steur van 3 m	Opening 1,2 m breed, minimale waterdiepte 1.7 m bekken 16 m breed bij 9 m diep

6.1 Het aanbod en zoekgedrag in de spuijom i.r.t. de ingang van de VMR



Een vis die gebruik kan en wil maken van de VMR moet de ingang van de VMR zien te vinden en te benutten. De zoete lokstroom van de VMR in of nabij de spuijom moet vissen verleiden om gebruik te maken van de VMR. Voor een goede efficiëntie van de VMR moeten de ingangen van de VMR daarom aansluiten bij het voorkomen en het gedrag van vissen in of nabij de spuijom. Gemotiveerde migranten kunnen op diverse wijze zoeken of wachten in de spuijom naar mogelijkheden om het IJsselmeer in te zwemmen. Eén van deze mogelijkheden is de VMR. Eenmaal in de spuijom ontstaan er mogelijk concentraties vis of zoeken de vissen uitvoerig naar mogelijkheden om verder te trekken richting het zoete water. Uit het bronnenonderzoek is gebleken dat zwakke zwemmers zoals glasaal en bot, maar ook driedoornige stekelbaars en spiering grotere concentraties kunnen vormen. Daarnaast zijn er voor de sterkere of matige zwemmers aanwijzingen dat er op grotere schaal binnen het complex zoekgedrag kan worden vertoond (bijvoorbeeld prikken met merk-terugvangst experimenten).

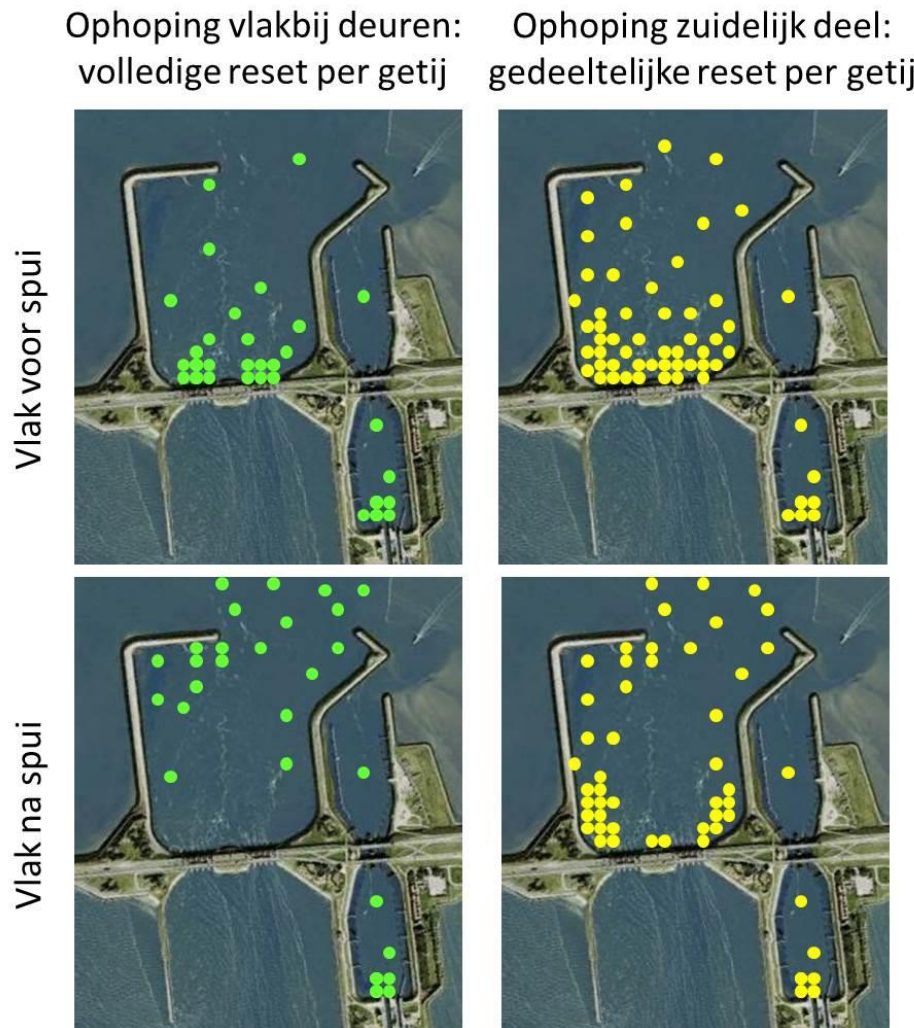
Hypothese vorming voor het voorkomen van concentraties zwakkere zwemmers in de spuijom

Vissen die de spuijom hebben weten te bereiken door bijvoorbeeld SGT kunnen zich op bepaalde plekken in de spuijom concentreren. Uit het bronnenonderzoek blijkt dat zwakkere zwemmers zich nabij de deuren kunnen ophopen. Deze concentraties kunnen worden weggespoeld tijdens een spui-event. De zwakke zwemmers zijn namelijk te zwak om zich te handhaven tegen het spui water in en het kan zijn dat er door het spuien een zogenoemde 'reset' ontstaat. Er kunnen zich diverse scenario's voordoen waarbij de dynamiek van deze concentraties vis sterk afhankelijk is van de spui-events. Of in andere woorden deze vissen zullen worden weggespoeld en later weer concentreren nabij de deuren van het spui-complex. Deze 'reset' kan volledig zijn waarbij min of meer alle vis wordt weggespoeld (Figuur 6-1 links). De reset kan ook onvolledig zijn wanneer een deel van de kleine vis achter blijft ten westen en oosten van de spui-kokers (Figuur 6-1 rechts).

Dat er zich concentraties vis voordoen in de spuijom lijkt zeer aannemelijk, maar de vraag hoe deze concentraties zich als het ware resetten na een spui-event of dat zij zich langdurig voordoen op een zelfde locatie is zeer relevant voor het succes van VMR voor zwakke zwemmers. Het beste scenario voor de VMR is het scenario waarbij een ingang van de VMR direct aansluit bij een (grote) concentratie vis die middels een zoete lokstroom de VMR goed weten te vinden en weet te benutten. Wanneer er echter een mis match is met de concentratie vis en de ingang van de VMR kan dit nadelige effecten hebben voor de passage efficiëntie van deze vissoorten. Echter wanneer er na elke spui een reset van deze concentraties plaatsvindt doordat concentraties vis uitelkaar worden gedreven of worden weggespoeld en de vis weer opnieuw een concentratie moet vormen is er een kans dat vissen onderweg alsnog de ingang van de VMR vinden, wat de efficiëntie ten goede komt. En dit zou dan bovendien betekenen dat de locatie van de ingang(en) van de VMR minder cruciaal is. Of en waar er concentraties vis voorkomen zal middels aanvullend onderzoek worden uitgezocht in het voorjaar van 2014.

Overigens er zijn aanwijzingen dat niet alleen zwakke zwemmers zich concentreren voor barrières, ook zalmen, zeeforellen en zelfs steuren worden soms waargenomen in clusters voor barrières tijdens stroomopwaartse migratie. In Kornwerderzand is door beroepsvissers genoemd dat er zich concentraties

vis voordoet in de diepere delen (15-30m diep) van de spuikom en bij de locaties bij fuiken nr. 5 en nr. 3 weergegeven in Figuur 2-8 *Figuur* . Waarom, welke en hoeveel vis zich hier bevindt is niet bekend. Luwe plekken (fuik nr. 5) in relatie tot het spuien en mogelijke zelfs een luwe plek vlakbij de westelijke deur (fuik nr. 3) kunnen plekken zijn waar vis naartoe wordt gedreven of naartoe wordt gestuurd door de spuipluim. Wanneer grotere vis langs de spuipluim in de spuikom zwemt komt hij uit bij de locatie van fuik nr. 3.



Figuur 6-1. Hypothetische dynamiek in voorkomen van vis die selectief getijden transport gebruikt, waarbij er verschil kan zijn tussen de manier van een 'reset' van de concentraties vlak na het spuien. Deze reset kan volledig of gedeeltelijk plaatsvinden.

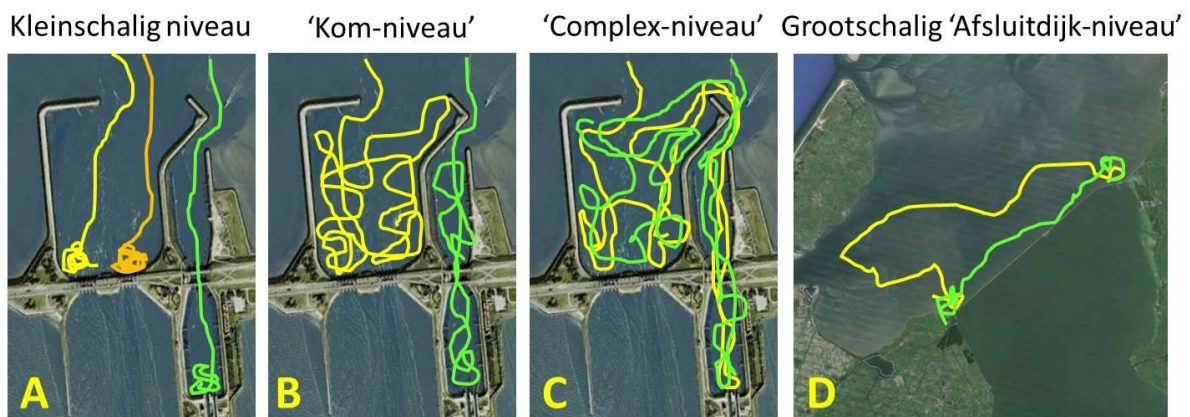
Hypothese vorming actief zoekgedrag in de spuikom

Actief zoeken in de spuikom op zoek naar mogelijkheden om het IJsselmeer in te zwemmen kan worden opgedeeld in vier scenario's. Dit gaat van heel lokaal actief zoekgedrag van 'SGT vissen' die overschakelen op actief zwemmen tot aan zoekgedrag tussen spuicomplexen door sterke zwemmers (Figuur 6-2).

- A) Op het allerkleinste niveau kan men denken aan zwakke zwemmers die zich ophopen bij de deur en op het laatste moment overschakelen op actief zwemmen. Deze ophoping van vis kan plaatsvinden voor deuren of voor de schutsluizen. Wanneer er bijvoorbeeld zowel bij de westelijke als de oostelijke kant concentraties plaatsvinden en de VMR ingang is aan de

westelijke kant gepositioneerd, is het niet ondenkbaar dat de concentratie vis aan de oostelijke oever niet wordt bediend door de VMR. Toch is het mogelijk dat er uitwisseling van vis is tussen deze concentraties, als de concentraties worden gereset door het spuien en er uitwisseling van vis tussen de concentraties kan plaatsvinden (Figuur 6-1). Dit scenario speelt zich waarschijnlijk af voor bot en glasaal die in sterke mate afhankelijk zijn van SGT en in tweede instantie overschakelen op actief zoekgedrag. Ook is het vanuit het bronnenonderzoek niet ondenkbaar dat spiering en driedoornige stekelbaars passen in dit scenario.

- B) Het tweede niveau van zoekgedrag is het zoeken van migratie mogelijkheden in de spuikom of nabij de schutsluis. Dit gedrag is eigenlijk een 'random' zoekgedrag waarbij de kans op het vinden van de ingang van de VMR afhankelijk zal zijn van het oppikken van de zoete lokstroom tijdens het zoeken in de spuikom. Dit kan zowel voor, tijdens als na het spuien.
- C) Het derde niveau van zoekgedrag is het zoeken van migratie mogelijkheden binnen het spuicomplex, maar tussen de spuikom en de 'haven' voor de schutsluizen. Vissen kunnen bij gebrek aan migratie mogelijkheden zoeken tussen deze twee mogelijkheden waarbij de kans op het vinden van de ingang van de VMR afhankelijk zal zijn van het oppikken van de zoete lokstroom tijdens het zoeken in de spuikom. Dit geldt bijvoorbeeld voor rivierprik die via merk terugvangst registratie van de 'haven' terug is gezwommen naar de spuikom.
- D) Het laatste niveau van zoekgedrag kan zijn dat vissen bij weinig succes van migratiemogelijkheden van het ene naar het andere spuicomplex zwemmen.



Figuur 6-2. Hypothese vorming van zoekgedrag door vis die actief zoekt naar migratiemogelijkheden van kleinschalig niveau (A) tot aan Afsluitdijk niveau (D).

Gemotiveerde migrerende vis die zich in de spuikom aandient zal op zoek gaan naar een mogelijkheid om richting het IJsselmeer te migreren. Voor een succesvolle VMR is het van belang dat zij de ingang van de VMR weten te vinden én te benutten. Op basis van de resultaten van het bronnenonderzoek lijkt de westelijke oever van de spuikom een geschikte locatie om de ingang van de VMR te positioneren. Hierbij is het logisch om aan te haken bij de stroomgeulen in de Waddenzee aan de buitenkant van de VMR. Dit betekent een locatie buiten de spuikom nabij fuik nr. 8 (Figuur 2-8Figuur). Beroepsvissers geven aan dat dit locaties zijn waar grotere vis (o.a. salmoniden) langs zwemmen en gevangen worden. Ook zullen vissen die van SGT gebruik maken vanuit het westen als eerste met deze ingang van de VMR in aanraking komen.

Een tweede optie voor een ingang zal nabij de deuren zijn vlakbij locatie van fuik nr. 3 (Figuur 2-8). Dit is een locatie waar in de periode van 2001 – 2007 veel stekelbaars is gevangen en komt bij veel andere vissoorten ook uit als een fuik waar veel relatief goed gevangen wordt. Dit kan ontstaan door bijvoorbeeld een combinatie van zoet lekwater, een luwe plek tijdens het spuien, maar ook doordat vissen mogelijk langs de spuipluim zwemmen en in deze hoek terecht komen.

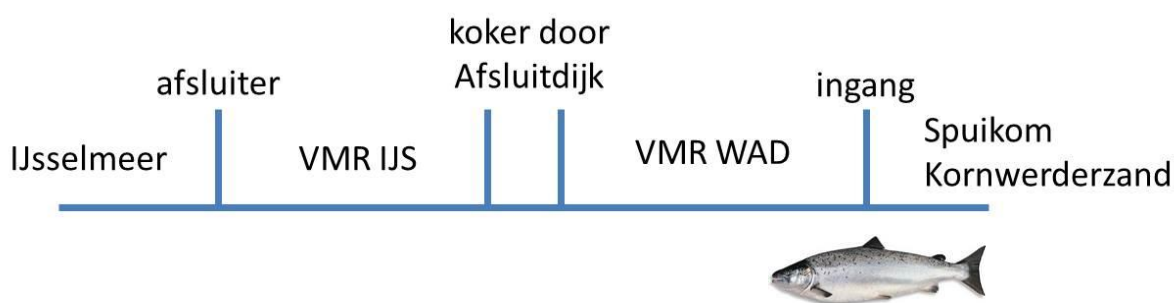
Een derde potentiële plek is nabij fuik locatie nr. 5. Ook deze fuik werd relatief veel vis gevangen in de periode 2001 – 2007. Wellicht is dit een gevolg van het gedrag van vis dat zij of hiernaar toe worden gedreven door het spuien of dat zij een luwe plek zoeken tijdens het spuien.

De onderzoeken die in het voorjaar van 2014 staan gepland in het kader van de VMR zullen nog meer inzicht geven op het voorkomen en de dynamiek in de tijd voor trekvis. Deze kan het advies voor waar de ingangen gesitueerd worden nog aanscherpen.

Conclusie

Voor een hoog rendement van de VMR is het noodzakelijk aan te sluiten bij concentraties vis. Uit het bronnenonderzoek is naar voren gekomen dat bij de diepe putten in en nabij de spui- en komlocaties zijn waar zich veel vis ophoopt. Ook lijken de locaties die gebruikt worden in het diadrome vis programma van IMARES fuik nr 3 en fuik nr 5 locaties waar veel vis worden gevangen. Waarom er juist hier veel vis wordt gevangen en of dit een gevolg is van spuien of een gerichte concentratie is niet duidelijk. Op basis van de huidige kennis lijkt een positie van de ingang van de VMR het meest geschikt aan de westelijke dijk, waarbij men kan denken aan een locatie vlakbij de deuren (nabij fuik nr 3), nabij fuik nr 5 en aan de buitenkant nabij fuik nr 8 van het diadrome vis programma van IMARES (Figuur 2-8).

6.2 De ingang van de VMR



Het succes van de VMR hangt in zeer hoge mate af of vissen de ingang van de VMR kunnen vinden, maar daarnaast ook goed kunnen benutten. Hierbij spelen factoren als het aantal ingangen, de dimensies en het substraat van de ingang een rol.

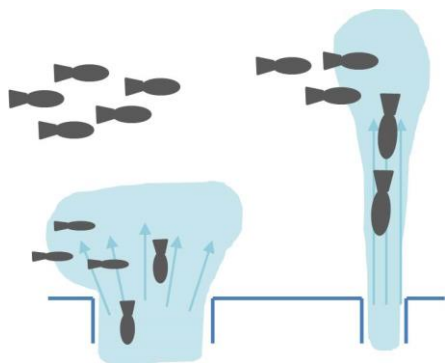
Het aantal ingangen

Om aan te sluiten bij het gedrag van vis en eventuele concentraties is het noodzakelijk om meerdere ingangen te gebruiken (zie conclusies paragraaf 6.1). Dit heeft als voordeel dat er een risicospreiding is op de aansluiting van de ingang op de concentraties en het zoekgedrag van vis. Een nadelig effect van meerdere ingangen is dat het debiet over meerdere ingangen wordt verdeeld met als gevolg dat de merkbare lokstroom wordt beperkt. Teveel ingangen of te groot gedimensioneerde ingangen zijn nadelig voor het succes van de VMR. Een oplossing zou zijn om meerdere ingangen te hebben die afzonderlijk afsluitbaar zijn, zodat met de mogelijkheid heeft tot risicospreiding en met voortschrijdend inzicht kan aansluiten bij het gedrag van vis. Men kan hiermee het gebruik van diverse ingangen variëren in de tijd en het seizoen en met voortschrijdend inzicht de diverse ingangen bedienen.

Dimensies

De grootte van de ingang is van directe invloed op de lokstroom die in de spui- en kom wordt gegenereerd. Zo kan een nauwe ingang een lokstroom creëren die over langere afstand merkbaar is, terwijl een brede ingang een lokstroom creëert die meer merkbaar is over kortere afstand met name langs de oevers.

Onze inschatting is dat een verder in de spui kom merkbare pluim effectiever zal werken, mits er langs de rand van de spuipluim passeerbare stromingscondities plaats vinden.



Figuur 6-3. De ingang van de VMR die links breed en rechts smal is gedimensioneerd. De linker variant zal minder hoge stroomsnelheden hebben en een lokstroom creëren die minder ver reikt. Hierdoor zullen vissen verderop mogelijk langs de lokstroom zwemmen. De rechter variant heeft hogere stroomsnelheden door de kleinere dimensies, maar reikt wel verder en zal ook opgemerkt kunnen worden door vissen die zich verder van de oevers bevinden.

Een te brede lokstroom zorgt voor lagere stroomsnelheden in de lokstroom waardoor die minder goed merkbaar is voor vissen die verder uit de oever zwemmen. De lengte van de lokstroom kan van belang zijn bijvoorbeeld tijdens het spuien. Wanneer vis bijvoorbeeld langs de spuipluim zwemt richting de deuren kan de pluim van de ingang van de VMR deze vissen richting de ingang van de VMR verleiden. De locatie van de ingang en de reikwijdte van de pluim in combinatie met de dimensies zijn sterk afhankelijk van elkaar en zullen gemodelleerd moeten worden voor een optimale dimensie. Als minimale dimensies zouden de kengetallen zoals die gekozen zijn voor de openingen in de vistrap van Geesthacht, en die gebaseerd zijn op het passeerbaar zijn voor een steur van 3 m, van 1,7 m diep bij laagwater en 4,5 m breed is gedimensioneerd (gebaseerd op beoogde stroomsnelheden tussen 0.15-0.75 m/s).

In de literatuur wordt vaak een lokstroom van 5-10 % aanbevolen, hoewel dit niet meer dan een 'rule of thumb' is. Het debiet zoals uit de gemodelleerde voorkeursvariant van de VMR van 10-20 m³/s is groot in vergelijking met veel bestaande vispassages. Tijdens het spuien zal de verhouding tussen spui en lokstroom vaak lager zijn dan 5 %, maar direct voor en na een spui iser alleen lokstroom vanuit de VMR en bedraagt die dan tijdelijk dus 100%. Het is mogelijk om via een extra leiding bij de ingangen van de VMR een groter debiet te spuien dan via de VMR wordt gevoerd. Een dergelijk principe is ook gehanteerd bij de vispassage Geesthacht in de Elbe. Bovendien kan hiermee het debiet worden geregeld minder afhankelijk van het getij, en eventueel afzonderlijk per ingang. Aangezien de attractie-efficiëntie een belangrijke factor is in het overall rendement van de VMR, zal een stuurbare extra debietvoering meer mogelijkheden geven om met voortschrijdend inzicht en praktijk testen de attractie-efficiëntie voor de verschillende doelsoorten te optimaliseren. Of dit noodzakelijk is, is op voorhand moeilijk aan te geven, want die hangt af hoe groot de attractie-efficiëntie is van de VMR met 10-20 m³/s en hoe effectief de korte vensters werken dat de lokstroom uit de VMR direct voor en na de spui de enige merkbare lokstroom is. Het verdient aanbeveling verschillende dimensies, aantal openingen en extra debietvoering te modelleren op stroomsnelheidsprofielen in tijd in de spui kom.

Gezien de onzekerheid over het zoekgedrag en voorkomen en dynamiek van concentraties vis in de tijd lijkt het voor de hand te liggen om te mikken op twee ingangen van de VMR om dit risico te spreiden (zie ook Reese 2012). Op basis van de vangstgegevens en aanvullende informatie van beroepsvissers zouden rondom de kop van de westelijke pier en dichtbij de westelijke spuisluizen voor de hand liggende locatiekeuzes zijn, maar de aanvullende onderzoeken gedurende het voorjaar van 2014 gaan hier nog meer kennis over opleveren.



Figuur 6-4. De ingang van de VMR die links is groter met een beperkte pluim langs de oever. Hierdoor kunnen eventuele grotere vissen die langs de spuipluim zich oriënteren, maar op de grens van de spuipluim zwemmen de ingang van de VMR missen. Rechts een situatie waar de pluim van de VMR, gecreëerd door een nauwere ingang, reikt tot de spuipluim waardoor vissen die langs de spuipluim zwemmen de pluim van de VMR kunnen oppikken.

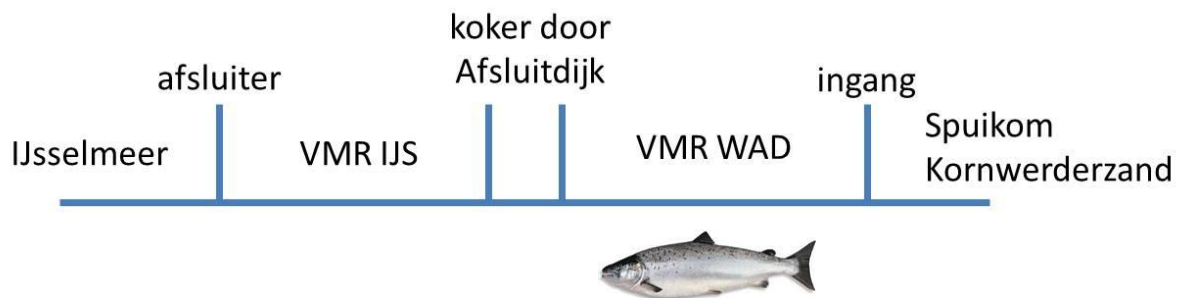
Bekleding van de ingang van de VMR

De bekleding van de VMR moet zo worden ingericht dat er een brede groep vissen wordt bediend. Sterke zwemmers kunnen door het midden van de ingang zwemmen, terwijl zwakkere zwemmers wellicht juist de oevers van de ingang nodig hebben. Met het plaatsen van stortsteen wordt een grote variatie aan stroomsnelheden gecreëerd met aan de zijkanten en bodem lagere stroomsnelheden dan elders in de ingang. Dit kan ten goede komen aan de zwakkere zwemmers. Ook wanneer de nauwe variant (Figuur 6-3) bekleed wordt met stortsteen kunnen kleinere vissen langs de oever worden bediend doordat niet overal in de waterkolom de stroomsnelheid hoog is. Een alternatief zou een ingang zijn met zand. Dit is natuurlijker, maar creëert minder variatie in stroomsnelheid en biedt minder schuilmogelijkheden. Daarentegen kan zand wel weer voordelig zijn voor SGT wanneer vissen zich willen ingraven in het zand. Het aanbrengen van 'rustbekkens' door diepere delen aan te brengen zou luwere delen aanbrengen, maar dit is speculatief.

Conclusie

Het is aan te bevelen om meerdere ingangen te creëren om aan te sluiten bij concentraties en het gedrag van vis. Echter, teveel ingangen kan de lokstroom uit de VMR aanzienlijk verminderen waardoor de attractie efficiëntie wordt verminderd. Het is raadzaam om de ingangen afsluitbaar te maken en op die manier te kunnen variëren in de tijd met diverse ingangen. Ook kan er hier met voortschrijdend inzicht relatief makkelijk aanpassingen worden gedaan. De dimensies van de ingang zijn gerelateerd aan de reikwijdte van de pluim uit de VMR. Een nauwere ingang van de VMR heeft een grotere reikwijdte in de spuirom, terwijl een brede ingang zich meer richt op de oevers van de spuirom. Een ingang bekleed met stortsteen zorgt voor variatie in stroomsnelheden en biedt daarnaast schuilplekken. Door de variatie in stroomsnelheden kunnen zowel sterke als zwakke zwemmers gebruik maken van de ingang.

6.3 De Waddenzeezijde van de VMR



Eenmaal in de VMR moet de vis volgens de huidige voorkeursvariant 2 km zwemmen om bij de koker onder de Afsluitdijk te komen. De vissen zullen afhankelijk van de fase waarin de VMR zich bevindt tegen het zoete water inzwemmen of met het zoute water meer kunnen voortbewegen. De dynamiek van de saliniteit zal in dit deel van de VMR daarom ook erg variëren doordat er volledig zoet water tot volledig zout water bij hoog water in dit gedeelte van de VMR is. Wat voor vis in dit gedeelte van de VMR van belang is, zijn de dimensies van de VMR, het substraat van de VMR en het predatierisico in de VMR door roofvis en vogels.

Dimensies

De VMR zoals gepresenteerd in de haalbaarheidsstudie (PNRW 2013) heeft een lengte van 2 km in dit gedeelte van de VMR met een gemiddelde breedte van 20 meter. Een lokstroom is belangrijk om vis met zoet water te verleiden om de VMR in te zwemmen. De dimensies van de VMR zijn gerelateerd aan een merkbare stroom voor de vissen niet alleen buiten de VMR, maar ook in de VMR zelf. Wanneer er bijvoorbeeld veel vertakkingen door het voorkomen van zijarmen zijn, of door de aanwezigheid van meerdere, al dan niet afsluitbare, ingangen moet er voor worden gezorgd dat er een dusdanige merkbare lokstroom aanwezig blijft in de VMR zelf waardoor vissen de route richting de koker vindbaar blijft.

Dimensies ter voorkoming van predatie

Predatie door vogels vormt een wezenlijk risico in de VMR. De diepte van dit gedeelte van de VMR kan meehelpen in het voorkomen van predatie door vogels die in de bovenste waterlagen op vis jagen. Met het oog op predatierisico van stootduikende visetende vogels (sterns en meeuwen) en duikende vogels die alleen de bovenste waterlagen gebruiken, zou een diepte van enkele meters de voorkeur hebben. De diepte van de VMR zal echter niet beperkend zijn voor futen en aalscholvers die een groot deel en zo niet de hele waterkolom kunnen gebruiken om te jagen. Beide duikende vogels zijn ook jaarrond aanwezig in het IJsselmeergebied en aalscholvers worden ook door lokale beroepsvissers genoemd als een soort die veelvuldig voorkomt bij Kornwerderzand met name aan de Westelijke dijken van de spui kom. Omdat diepte voor deze soort geen beperking lijkt, wordt er aanbevolen om vogels te verstoren op het land, zodat het predatierisico wordt verminderd. Naast vogels vormen roofvis ook een risico voor vis in de VMR. Echter door de sterke dynamiek van saliniteit is het onwaarschijnlijk dat mariene roofvis zich langdurig zal ophouden in de VMR. Voor zowel vogels als eventuele roofvis is het aantrekkelijk om juist af te gaan op concentraties vis in de VMR. Door de grote lengte is de kans op het voorkomen van concentraties en ophopingen geringer, maar wel aanwezig. Eventuele ophoping kan zich voordoen bij het laatste gedeelte van de VMR aan de Waddenzee zijde voor de koker onder de weg door. Deze plaats heeft wellicht een verhoogd predatierisico, zoals bijvoorbeeld door aalscholvers en futen. Vogels zullen hier verstoord of weggejaagd moeten worden om het risico te verlagen op predatie. Wellicht dat het aanbrengen van structuren onder water een schuifunctie kan vervullen, maar dit gaat ook ten koste van de 'natuurlijkheid' van de migratieroute, wat het gedrag zou kunnen beïnvloeden.

Inrichting van de VMR

Bij de inrichting kan worden gedacht aan verschillende typen substraat zoals: zand, beton en stortsteen.

Zand

Zand is vanuit de vis gezien een ondergrond die overeenkomt met natuurlijke estuaria. Ook zal zand zeer geschikt zijn voor vissen die zich in het zand kunnen verstoppen om predatie te voorkomen (bot). Zand heeft misschien wel het grootste voordeel voor vissen die gebruik maken van selectief getijden transport. Deze vissen graven zich met afgaand tij in, wat bij beton en stortsteen niet kan.

Beton

Beton is een manier om de VMR in te richten en kan wellicht voordelig zijn voor vissoorten als prikken die met hun zuigbek kunnen hechten aan het beton om eventueel te rusten bij stroomversnellingen. Nadeel van beton is dat vissen geen of beperkte mogelijkheid hebben om te schuilen tegen predatie. Ook zal de variatie in stroomsnelheid beperkt zijn wat nadelig kan zijn voor zwakke zwemmers.

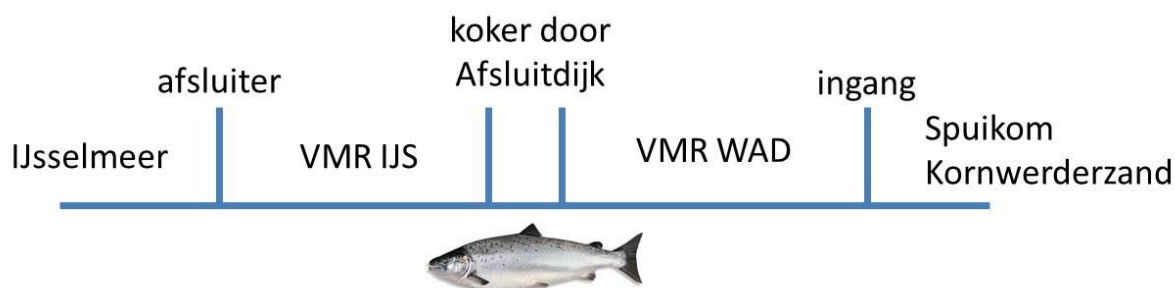
Stortsteen

Stortsteen is een tweede onnatuurlijke vorm om de VMR in te richten. Het voordeel van stortsteen is dat er een variatie aan stroomsnelheid wordt gecreëerd die voordelig kan zijn voor zwakke zwemmers. Ook biedt stortsteen een grote mogelijkheid om te schuilen tegen duikende visetende vogels zoals aalscholvers en futen. Mogelijk vormt stortsteen een nadeel voor een soort als bot die zich niet kan ingraven in het zand op plekken waar stortsteen is. Prikken kunnen mogelijk net als bij beton ook rusten op het stortsteen.

Conclusie

De dimensies in de VMR aan de Waddenzeezijde moeten worden afgestemd op een merkbare lokstroom in de VMR voor vis. Een veelvoud van, al dan niet afsluitbare, ingangen van de VMR kan ervoor zorgen dat de lokstroom in de VMR, maar ook buiten de VMR wordt afgezwakt. Predatie door vogels, zoals futen en aalscholvers, die op grotere diepte kunnen duiken is niet te voorkomen door de diepte van de VMR aan te passen. Een VMR van enkele meters diep zal de predatie door duikende vogels die alleen de bovenste waterlagen gebruiken en stootduikende vogels beperken omdat vissen kunnen wegduiken. Concentraties of ophoping van vis vormt een verhoogd predatie risico. Dit wordt gedeeltelijk voorkomen door de lengte van de VMR, maar een verhoogde kans op concentratie vis voor een gesloten koker vormt een risico voor vis op predatie in de VMR. Vogels moeten hier voor de ingang van de koker worden verstoord of weggejaagd aan de oppervlakte waardoor het risico op predatie wordt beperkt. De kans op de aanwezigheid van mariene roofvis wordt laag ingeschat door de grote schommelingen in saliniteit. Voor de inrichting van de VMR wordt aanbevolen om een combinatie van stortsteen en zand te gebruiken, waar diverse vissoorten voordeel bij hebben. Een combinatie van zand en stortsteen zorgt voor een variatie aan stroomsnelheid (stortsteen), schuilmogelijkheid (zand en stortsteen) en migratiemogelijkheden voor prik (stortsteen).

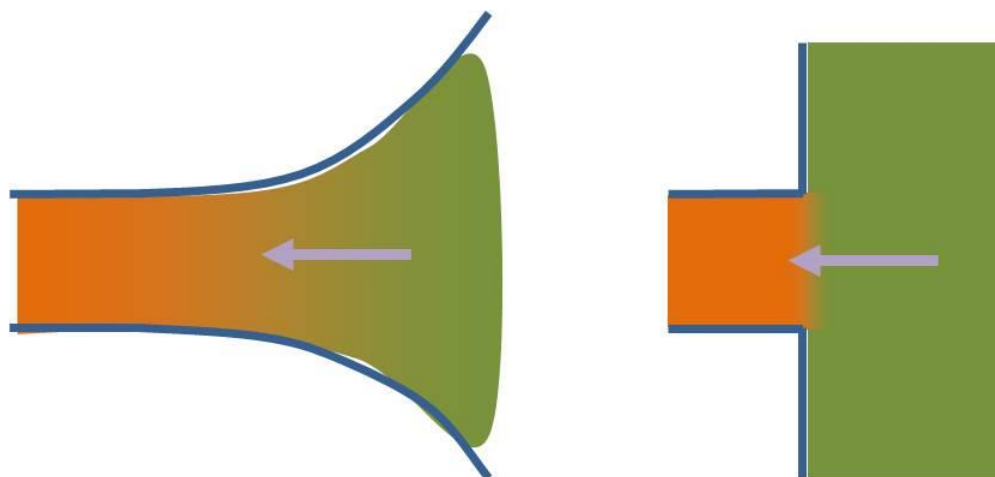
6.4 De koker door de Afsluitdijk



Voor de koker onder afsluitdijk zijn diverse factoren van belang: ontwerp ingang koker, dimensies, verlichting, remmende factoren en beheer van de afsluiters.

Ontwerp ingang van de koker

Om te voorkomen dat vissen worden geconfronteerd met een abrupte stroomversnelling of turbulentie wordt aanbevolen om de ingang van de koker taps toe te laten lopen. Hierdoor ontstaat er een situatie die door vissen mogelijk als minder complex wordt ervaren en hierdoor een schrikreactie of een vermijdende reactie wordt voorkomen. Uit het bronnenonderzoek blijkt dat vissen alerter en voorzichtiger zijn bij hydraulisch complexere situaties. Dit moet dus voorkomen worden.



Figuur 6-5. Links een taps toe lopende ingang van de koker die een geleidelijk stroomversnelling creëert. Rechts een situatie die een abrupte stroomversnelling creëert en mogelijk een schrikreactie bij vis veroorzaakt.

Dimensies

In de voorkeursvariant bleek een duiker van 5x2 m voldoende debiet te voeren om in combinatie met 2 km buitengaats en 4 km binnengaats delen van de VMR, zoutindringing te voorkomen met een openstaand venster van gemiddeld 52% van de getijcyclus. 2 m is dicht bij de minimum hoogte van 1,7 m die in Geestacht is gesteld voor passage van steur. Wat breedte betreft zou de koker kunnen worden verdeeld in twee kokers van 2,5 x 2 m. Dit voldoet nog steeds aan de minimale breedte en hoogte voor grote steur, maar geeft de optie om de kokers verschillend te beheren. Zie opties verderop.

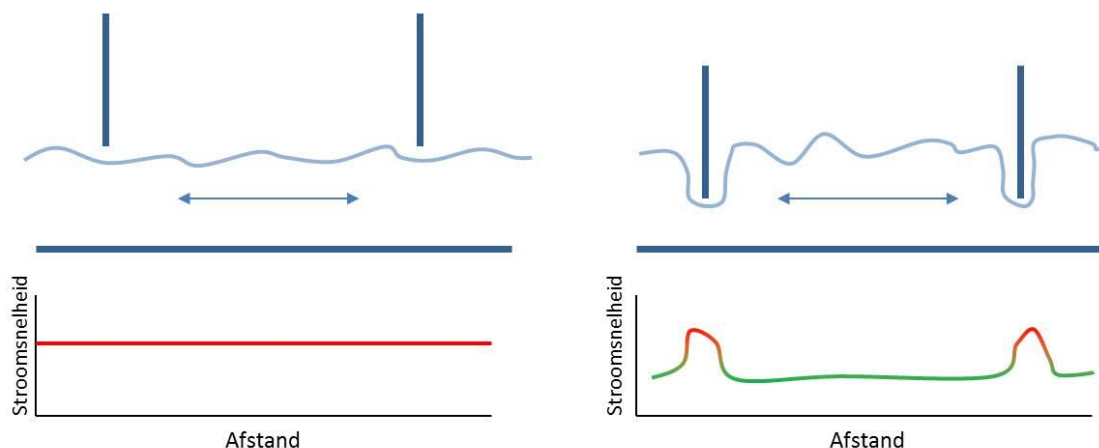
Verlichting

Vissen die in de nacht migreren zullen geen beperking ondervinden om door een donkere koker te zwemmen. Vissen die overdag migreren worden geconfronteerd met een donkere buis die zij moeten passeren. Uit de literatuur is echter gebleken dat voor sommige vissoorten (salmoniden) het geen beperking hoeft te zijn. Echter van de meeste soorten is niet bekend of zij beperkt worden door een

donkere koker. Het kan een optie zijn om met de aanleg van de koker optionele verlichting aan te brengen en deze al dan niet te gebruiken of dit te testen. Ook kan er worden gedacht aan meerdere kokers met wel of geen verlichting. Onze inschatting zou zijn dat er geen verlichting nodig is in de koker.

Remmende factoren in de koker en beheer van afsluiters

In de VMR is de stroomsnelheid het hoogst in de koker (max 2 m/s). Dit heeft ertoe geleid om in de haalbaarheidsstudie aan te geven om remmende obstakels in de koker aan te brengen. Stroming beperkende schotten in de koker kunnen de migratievensters van actief, tegen de stroming in, migrerende vis vergroten. Ook kan er worden aan gedacht om bijvoorbeeld twee kokers aan te leggen. Eén met en één zonder remmende obstakels. Toch hebben permanent remmende obstakels geen voorkeur vanuit de vis gezien. Remmende obstakels kunnen namelijk zorgen voor turbulentie wat effect kan hebben op het gedrag van vissen omdat de situatie complexer wordt. Wanneer er bijvoorbeeld ruwe wanden worden aangebracht kan dit ook nadelig zijn voor prikken die gebruik maken van hun zuigbek. Beter is om met de schuiven van de koker een optimaal regime te ontwikkelen. Waarbij de stroomsnelheid in de koker wordt geremd. Echter direct onder de schuiven zal de stroomsnelheid alsnog hoog zijn. Vissen moeten dan over een kortere afstand sprinten om in de koker te komen wanneer de stroming richting de Waddenzee is.



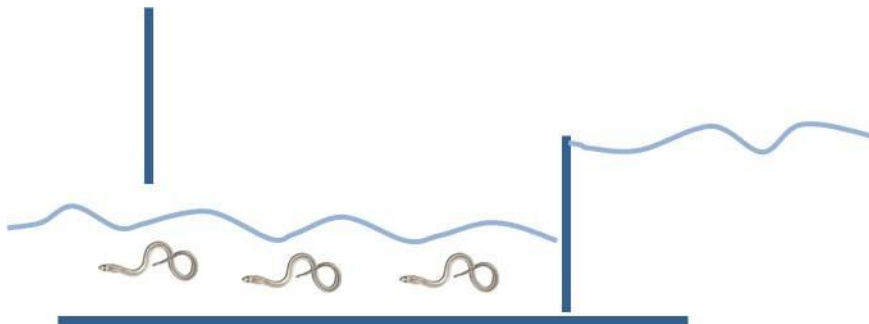
Figuur 6-6. Beheermogelijkheden om de stroomsnelheden in de koker van de VMR te remmen door gebruik te maken van de schuiven van de koker. Links de schuiven volledig geopend met een constante stroomsnelheid en rechts een geremde variant waarbij de schuiven gedeeltelijk zijn gezakt en de stroomsnelheid in de koker wordt geremd. De stroomsnelheid onder de schuiven zal wel hoog blijven.

Een nadelig effect van de remming van het water is dat er over het geheel (veel) minder debiet door de VMR zal stromen en daarmee de lokstroom, zowel in als bij de ingang van de VMR wordt verlaagd. Hierdoor zal de attractie van de VMR worden verminderd. Ook vermindert het instromende debiet voor meedrijvende vissen die met selectief getijdetransport en verkleint het migratievenster voor deze groep. Omdat deze groep het meest beperkt is in migratiemogelijkheden, lijkt het logisch om de koker voor juist deze groep te optimaliseren. Remming van het water kan al met al een negatief effect hebben op de attractie efficiëntie van de VMR. Mocht remming toch noodzakelijk lijken dan wordt er aanbevolen om remming te creëren zoals aangegeven in Figuur 6-6. Op deze manier is er altijd de mogelijkheid om wel of niet te remmen in tegenstelling tot een variant met permanente remmers in de koker.

Beheer van de afsluiters en het vergroten migratie vensters voor SGT vissen en zwakke zwemmers

Bij het afsluiten van de koker is het zeer waarschijnlijk dat er vis wordt opgesloten. Om deze vis de mogelijkheid te bieden om alsnog richting het IJsselmeer te zwemmen kan de zuidelijke afsluiter (IJsselmeerzijde) van de koker langer open worden gehouden (Figuur 6-7). De vis in de koker heeft dan langer de tijd om eruit te zwemmen met als voordeel dat zij dit in stagnant water kunnen doen, doordat de afsluiter aan het einde van de VMR ook dit is. Dit geeft vooral een wegzwekmkans aan de zwakke

zwemmers en de van SGT afhankelijke vissen die aan het einde van de VMR cyclus mogelijk gebruik maken van de waterstromen richting het IJsselmeer door het opkomende water (Figuur 2-6, fase 5). Wanneer men de zuid-deur niet zou open zetten, is het goed mogelijk deze zwakke zwemmers, die opgesloten zitten in de koker bij het openen van de VMR terug naar de Waddenzeekant van de VMR worden gespoeld of gezogen door de zoete waterstroom uit het IJsselmeer (Figuur 2-6, fase 2 en 3). De effecten van deze afsluiters knijpen kan in verschillende hydraulische scenario's worden gemodelleerd, zodat stroomsnelheidsprofielen en variatie hierin gedurende de getijcyclus kunnen worden beoordeeld. Bijvoorbeeld in duur dat een migratievenster passeerbaar is per doelsoort.

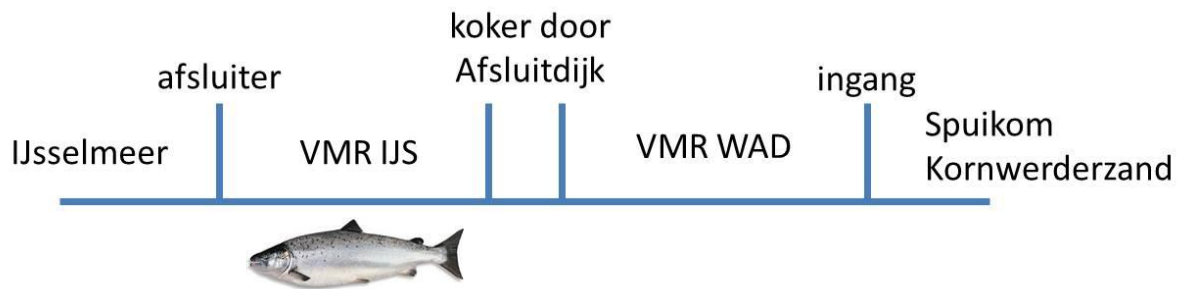


Figuur 6-7. Om te voorkomen dat vissen bij het afsluiten van de koker worden opgesloten is het mogelijk om de zuid deur (IJsselmeerzijde), langer open te laten staan wanneer het hoogwater wordt.

Conclusie

Een taps toe lopende ingang van de koker kan er voor zorgen dat er geen turbulentie ontstaat in combinatie met een geleidelijke stroomversnelling. Dit heeft mogelijk tot gevolg dat vissen niet of minder schrikken van de overgang. Hoewel er geen aanwijzingen zijn gevonden dat een donkere koker beperkend is voor de migratie van vis, is het aan te bevelen om een lichtvoorziening in de koker aan te brengen zodat er mee getest kan worden (voor vissen die overdag migreren). Permanente obstakels in de koker of ruwe wanden beperken de stroomsnelheid. Echter beperken zij ook het debiet door de VMR als geheel. Aanbevolen wordt om de stroomsnelheid te verminderen door beheer van de afsluiters van de koker indien dit gunstig blijkt te zijn voor vissen. Om zwakke zwemmers aan het einde van de VMR cyclus de kans te geven om in stagnant water actief richting de IJsselmeer zijde van de VMR te laten zwemmen wordt er aanbevolen om de zuiddeur van de koker langer open te laten.

6.5 De VMR aan de IJsselmeerzijde



Het één na laatste deel van de VMR is de IJsselmeerzijde. Dit deel is in de voorkeursvariant met zijn 4 km het langste gedeelte van de VMR. De volgende factoren zijn van belang voor dit gedeelte van de VMR: dimensies, acclimatisatie zone, inrichting en concentraties van vis voor de afsluiter.

Dimensies

In de voorkeursvariant is uitgegaan van ca. 10 m breed en ca. 3,5 m diep. Als minimale diepte voor succesvolle passage van een steur van 3 m is in het ontwerp voor de vispassage te Geesthacht 1,7 m aangehouden. Met het oog op predatierisico is een groter nat oppervlak voordelig, aangezien de vis minder geconcentreerd langstrekt.

Acclimatisatie zones

In tegenstelling tot de VMR Waddenzeezijde heeft de VMR IJsselmeerzijde mogelijk meer mogelijkheden om brakwaterzones in te bouwen waar vissen kunnen wennen aan een nieuw saliniteitgehalte. Dit wordt veroorzaakt doordat er zowel zoet als zout water door dit deel van de VMR stroomt, maar er geen hoog water situatie is met volledig zout water. In tegenstelling tot de Waddenzee zijde van VMR is er hier namelijk geen getij verschil en is er een stagnante situatie wanneer de deuren zijn gesloten. Door het creëren van zijarmen waar zoet, zout of brak water in kan blijven staan hebben vissen de mogelijkheid om aan een nieuwe saliniteit te wennen. In de literatuur is er echter weinig bekend of vissen een acclimatisatiezone nodig hebben. Voor sommige soorten als zalm, migrerende stekelbaars en glasaal zijn er aanwijzingen dat zij snel grote variaties aan saliniteit aankunnen wanneer zij in een migratie stadium zitten. Om vis de mogelijkheid te bieden om te wennen aan het zoete water kunnen er wel acclimatisatie zones worden ingebouwd waar zout of brak water in blijft staan. Deze zones kunnen worden gecreëerd door zij-armen in de rivier te maken.

Leefgebied

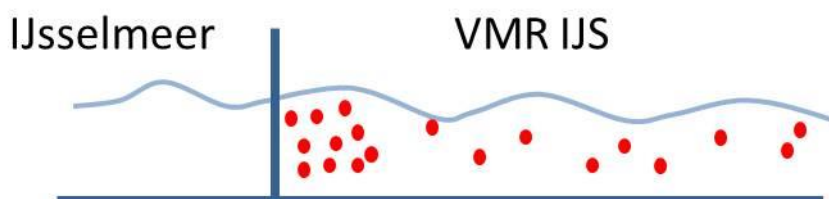
Door de bouw van de Afsluitdijk zijn brakwatergebieden en natuurlijke gradiënten zoals die voorkomen in estuaria verdwenen. Een doelsoort die hier sterk van afhankelijk is is de fint. Het lijkt onwaarschijnlijk dat de VMR goede paai- en opgroei-mogelijkheden voor fint gaat bieden. Maar als foerageergebied voor andere diadrome vis en mariene soorten, waaronder zeker ook estuarien residente vissoorten kan de VMR zeker extra leefgebied bieden. Hoe groot de benodigde arealen moeten zijn is moeilijk aan te geven met de huidige kennis, maar wanneer de habitat heterogeniteit groter is, zoals met het aanbrengen van zijarmen en verdiepingen lijkt het aannemelijk dat de VMR als leefgebied aantrekkelijker wordt.

Predatierisico

Net zoals het deel van de VMR aan de Waddenzee zijde vormt predatie op vis een risico. Met het oog op predatierisico van duikende en stootduikende visetende vogels zou een diepte van enkele meters de voorkeur hebben. Het risico van predatie door aalscholvers en futen kan niet worden tegengegaan door het creëren van enkele meters diepte. Ook vogels aan de oevers zoals reigers en lepelaars kunnen risico vormen voor vis die zich ophoudt aan de ondiepere delen van de VMR. Verstoring van vogels en het voorkomen van concentraties vis zullen het risico op predatie of grote verliezen van vis verkleinen. Ook zoetwaterroofvis als snoek, snoekbaars en baars zou zich wellicht goed kunnen handhaven in de

binnengaatse VMR, dit hangt af van de mate van menging en zoet-zout gradiënt en zal niet kunnen worden voorkomen.

De stroming in dit deel van VMR zal altijd richting de Waddenzee zijn, omdat er geen zout indringing mag plaatsvinden. Vissen die afhankelijk zijn van SGT zullen altijd dit laatste deel van de VMR actief het IJsselmeer in moeten zwemmen en vormen mogelijk concentraties voor de deur van de afsluiter van de VMR of in de zij-armen van de VMR (Figuur 6-8). Deze concentraties vis vormen een verhoogd risico voor predatie. Dit soort ophoping is uit de literatuur vooral gevonden voor glasaal, driedoornige stekelbaars en bot. Maar ook grotere vissen kunnen zich 'ophopen' voor barrières. In de volgende paragraaf zal er een mogelijke oplossing worden gegeven om deze ophoping richting het IJsselmeer te faciliteren.



Figuur 6-8. Hypothetische situatie waarbij een concentratie vis voor de afsluiter ontstaat, waarbij een verhoogd risico ontstaat op predatie door roofvis en vogels.

Substraat in de VMR

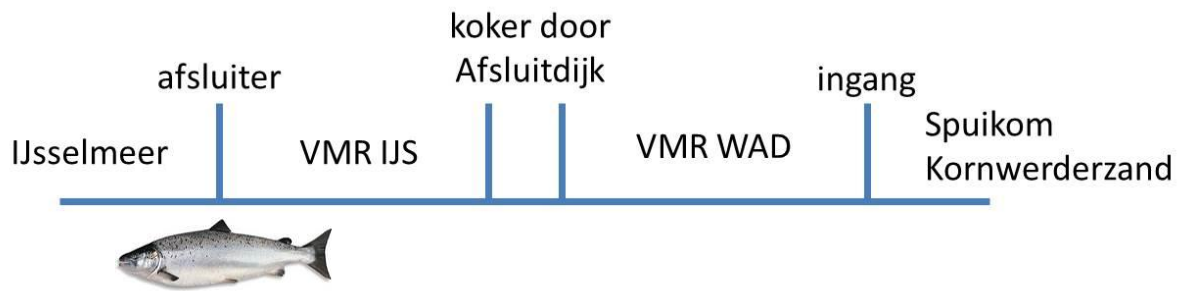
Idem als de inrichting van de VMR aan de Waddenzee zijde. Een natuurlijke inrichting met natuurlijk substraat (zand en plaatselijk slib) zal de vissoorten die met SGT naar binnen bewegen het beste faciliteren, zodat zij zich in kunnen graven in het zand. Dit gaat zeker op voor bot, maar zeer waarschijnlijk ook voor andere soorten zoals glasaal. Stortsteen zorgt voor een variatie aan stroomsnelheid en de mogelijkheid om te schuilen tegen predators. Net als aan de VMR waddenzeezijde kan bot juist nadeel ondervinden van de afwezigheid van zand. Het is raadzaam om een variatie aan keuzemogelijkheden aan te bieden aan de vis in zowel substraat als in het al dan niet gebruik van zijarmen waar zij kunnen leven, schuilen of acclimatiseren.

Naast bovenstaande factoren is het ook een punt van aandacht om te kijken naar de ontwikkeling van de zuurstofgehalten wanneer het water gedurende een aantal uur stagnant wordt in de VMR. Met name wanneer er gelaagdheid door zoutgehalte optreedt in de VMR en er sprake is van hogere temperaturen en hoge slibvracht zouden zuurstofgehalten lager, en daarmee ongunstiger voor trekvis, kunnen worden. Daarom: ervoor zorgen dat ook in warme (droge) periodes soms even flink doorgespoeld kan worden.

Conclusie

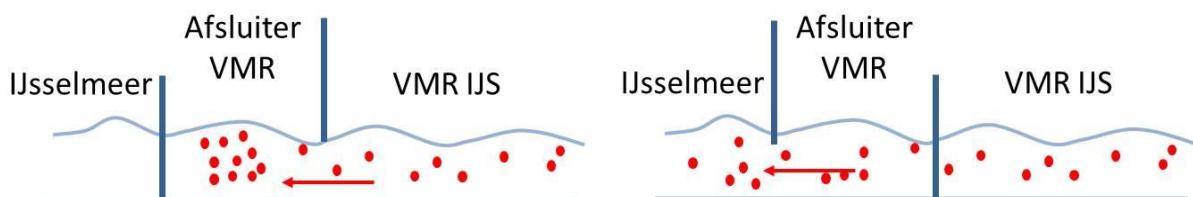
Hoewel de literatuur hier een grote kennisleemte laat zien is dit deel van de VMR geschikt om acclimatisatiezones in te bouwen door middel van zij-armen. Het geringe getij in dit gedeelte biedt de mogelijkheid om een brakwater zone in te bouwen die vissen de mogelijkheid geeft om te wennen aan het zoete/brakke water. Predatie vormt in dit deel van de VMR een risico, waarbij duikende vogels, als futen en aalscholvers niet gelimiteerd zijn door de diepte. Ook oeversgebonden vogels vormen een bedreiging waar rekening mee gehouden moet worden. Roofvis als snoek, snoekbaars en baars kunnen zich wellicht settelen in de VMR. Om het risico van predatie te verlagen moet voorkomen worden dat er kwetsbare concentraties vis ontstaan bijvoorbeeld voor de afsluiter van de VMR. Het is raadzaam om een variatie aan keuze mogelijkheden aan substraat en habitat aan te bieden ten behoeve van een leefgebied, het schuilen tegen predatie en het eventueel acclimatiseren. Daarnaast: stratificatie voorkomen (regelmatig doorspoelen).

6.6 De afsluiter van de VMR aan de IJsselmeerzijde



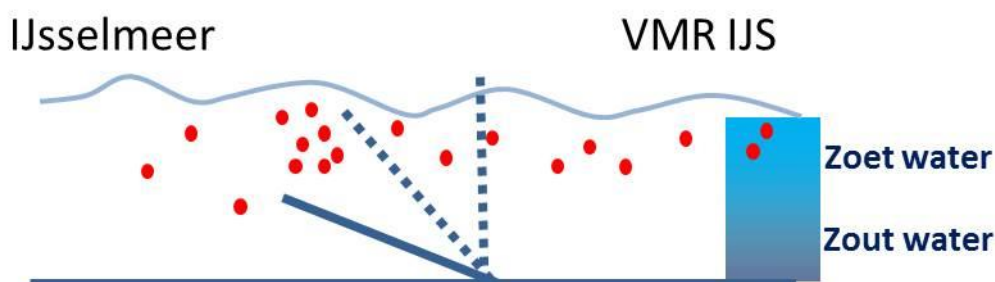
De afsluiter aan de IJsselmeerzijde is een relatief groot deel van de tijd gesloten (68 % in de voorkeursvariant in de haalbaarheidsstudie) en er vindt geen IJsselmeergerichte stroming plaats om zout indringen te voorkomen. Voor actieve zwemmers zal dit zeer waarschijnlijk niet tot problemen leiden, maar voor de vissen die middels SGT de VMR passeren zou dit wellicht beperkend kunnen werken. Vissen die het IJsselmeer willen bereiken via de VMR moeten het laatste stuk altijd actief tegen de stroom in zwemmen. Ze kunnen de VMR inzwemmen ofwel tegen een zoete lokstroom in ofwel met een zoute stroom de VMR in. In het laatste geval, wanneer er met opkomend tij zout water in de VMR stroomt wordt de afsluiter aan de IJsselmeerzijde afgesloten om het waterpeil tot 30 cm hoger dan in het IJsselmeer te kunnen laten stijgen. Mocht er worden gestuurd op zoutgehalte bij de VMR inlaat tijdens het inlaten van water vanuit de Waddenzee, dan kan de IJsselmeer ingang van de VMR langer open staan en zal onderstaande beschouwing minder relevant zijn, omdat de intrekmogelijkheden met meeliften met een naar het IJsselmeer gerichte stroming dan groter zal zijn.

Om te voorkomen dat concentraties vis voor de afsluiter een verhoogde kans hebben op predatie is het raadzaam om een dubbele afsluiter te hebben met enige afstand (tientallen meters) tussen de deuren. Op deze manier is het mogelijk om via deze deuren vis via schuttingen het IJsselmeer in te laten zwemmen. De kans op brakwater indringing is hierbij wel aanwezig, maar door de dubbele deuren beperkt.



Figuur 6-9. Een situatie waarbij de afsluiter van de VMR aan de IJsselmeerzijde wordt opgedeeld in twee deuren en vis middels schuttingen langer de kans krijgt om richting het IJsselmeer te zwemmen. In deze situatie kan beperkte zout indringing niet voorkomen worden.

Om toch zout indringing te voorkomen is het ook mogelijk om een neerlaatbare klepstuw te maken. Zout water is zwaarder dan zoet water. Zoet water zal vooral aan de oppervlakte zijn. De hydraulische modelstudies van Deltares laten een gelaagdheid zien van zout-zoet die ontstaat uit de geleidelijke dispersie en verspreiding van zouter water na het tijdelijk inlaten van water vanuit de Waddenzee, maar of dit in werkelijkheid ook zo optreedt was afhankelijk van de parameterzetting en verdient nadere studie volgens Deltares. Door een overstort van water te creëren wordt zoutindringing mogelijk voorkomen, en worden vissen langer de kans geboden om het IJsselmeer in te zwemmen. Voor optimale vismigratie zou een oplossing met een permanent open verbinding tussen VMR en het IJsselmeer uiteraard het beste zijn.



Figuur 6-10. Een situatie waarbij de afsluiter in de vorm van een neerlaatbare klepstuw is gemaakt. Zout water is zwaarder dan zoet water en de indringing van zout water zal hierdoor worden verminderd ten opzichte van een verticale schuif. Ook op deze manier wordt vis langer de kans geboden om het IJsselmeer in te zwemmen.

6.7 Slotbeschouwing en toetsing van de randvoorwaarden en ontwerpeisen

In onderstaande tabel is kort samengevat in hoeverre de randvoorwaarden en ontwerpeisen t.o.v. de inrichting van de VMR zoals in de haalbaarheidsstudie zijn aangegeven (PNRW 2013) in onze optiek nog relevant zijn, ofwel dat er veranderingen of aanscherpingen worden aanbevolen.

Tabel 7. Samenvattende tabel met de belangrijkste randvoorwaarden en ontwerpeisen, inschatting van de relevantie n.a.v. dit bronnenonderzoek en eventuele aanbevelingen en aanscherpingen.

Randvoorwaarde/ontwerpeis (PNRW 2013)	Ingeschatte relevantie op basis van bronnenonderzoek	Eventuele aanbevelingen en aanscherpingen
Gericht op intrek van brede groep trekvis met zowel zwakke als sterke zwemmers (doelsoorten), uittrek wordt vrijwel niet belemmerd en is geen focus voor VMR.	Zeer relevant en terechte focus op verbetering van intrek. De uittrek wordt vrijwel niet belemmerd in huidige situatie en uittrek kan aanvullend ook via VMR	Toevoeging van Atlantische steur aan lijst met doelsoorten, deze komt van oudsher voor, VMR moet robuust zijn voor verre toekomst, deze soort stelt door grootte andere randvoorwaarden aan dimensies onderdelen VMR
Dag & nacht en jaar-rond vispassage. Alleen in droge periode beperkt.	Zeer relevant, intrek vindt gedurende geheel jaar plaats en zowel overdag als 's nachts voor de verschillende doelsoorten	In droge perioden vaak in de zomer wanneer vismigratie beperkt is, wel af en toe doorspoelen om eventuele stratificatie en zuurstofproblemen in VMR voor te zijn.
Contact met diepere wadgeulen, VMR voorkeursligging aan de westelijke zijde Kornwerderzand	Relevant, dit lijkt de beste ligging voor de VMR	n.v.t.
Optimale lokstroom en locatie ingang.	Cruciale factor in de meerwaarde die VMR kan bieden. 10-20 m ³ /s, zeker in combinatie met een langere merkbare lokstroom voor en na de spui, zal de attractie-efficiëntie ten goede te komen.	Gezien onzekerheden in zoekgedrag en voorkomen van concentraties lijken twee ingangen (kop van westelijke pier en dichtbij ten westen van sluikokers lijken vooralsnog de beste locaties, met afsluiters en niet te brede opening zodat lokstroom 'verder' in spui kom reikt, en lage stroomsnelheden langs randen). Inrichting zodanig dat er ook na aanleg middels beheer en voortschrijdend inzicht de lokstroom geoptimaliseerd kan worden.

Randvoorwaarde/ontwerpeis (PNRW 2013)	Ingeschatte relevantie op basis van bronnen-onderzoek	Eventuele aanbevelingen en aanscherpingen
<i>Aanwezigheid retourstroom richting IJsselmeer</i>	<i>Zeer relevant, maakt deze vistrap uniek en faciliteert intrek van botlarven en andere zwakke zwemmers. In vispassages die alleen via actief zwemmen kan worden gepasseerd trekt met name bot niet door.</i>	<i>Omdat dit een volume dichtheid gestuurd proces is, zal de VMR het beste werken voor vis die met selectief getijdetransport intrekt wanneer deze aansluit op concentraties en leent zich goed voorinschatting met hydraulische modellering in combinatie met 'vispartikels' met gedragsregels</i>
<i>Inrichting VMR Waddenzee zijde met natuurlijk karakter.</i>	<i>Relevant, zowel wat substraat als met het getij omkerende stromingscondities betreft.</i>	<i>Voorkeursubstraat zand. Voorgestelde dimensies minstens enkele meters diep en 20 m lijkt ruim voldoende breed</i>
<i>Inrichting VMR-koker door Afsluitdijk:</i>	<i>Dimensies 5x2 m lijken voldoende om intrek van alle doelsoorten te faciliteren.</i>	<i>Minimaal 4,5 m breed en 1.75 diep wat voor steur van 3 m nodig zou zijn. Liever ruimer gedimensioneerd. Ingang koker taps toe laten lopen om abrupte versnelling in waterstroming te voorkomen (schrikt met stroming mee zwemmende trekvis af). Minimalisering van turbulentie (pleit tegen stortsteen in koker, wellicht beter stuurbare en tijdelijk regelbare remming van waterstroming in koker realiseren met afsluitbare schuiven). Verlichting in donkere koker lijkt niet noodzakelijk.</i>
<i>Inrichting VMR IJsselmeerzijde: brakwater areaal 100 ha,</i>	<i>Relevant, waarbij eis van 100 ha met huidige kennis moeilijk te onderbouwen is. Als paai- en opgroeigebied voor fint zal dit waarschijnlijk ontoereikend zijn.</i>	<i>Voor acclimatisatie is wellicht overgangsgebied nodig voor fintachtigen en zeer jonge vis zoals botlarven. Als leefgebied biedt dit kansen voor o.a. estuarien residente soorten. Habitat heterogeniteit door zijarmen en verdiepingen lijkt deze kansen te vergroten.</i>
<i>IJsselmeer ingang VMR</i>	<i>Relevant, met name voor vis die selectief getijdetransport nodig heeft.</i>	<i>Zolang mogelijk open houden van deze afsluiter door sturing op zoutgehalte bij inkomende retourstroming in VMR zal passieve intrek vergroten. Andere optie kan dubbele afsluitdeur zijn die afwisselend wordt geopend en gesloten.</i>
<i>Predatie in en rond de VMR</i>	<i>Relevantie niet goed beken. Predatie door roofvis zal door dynamische zoutgehalten beperkt zijn tot enkele soorten.</i>	<i>Mocht blijken dat predatie door vogels een grote factor vormt dan kan er voor 'afschrikingsmethoden' gekozen worden.</i>

Randvoorwaarde/ontwerpeis (PNRW 2013)	Ingeschatte relevantie op basis van bronnen-onderzoek	Eventuele aanbevelingen en aanscherpingen
<i>Terugkeer garantie zoetwatervis</i>	<i>Minder relevant, is zeer moeilijk te realiseren en het is de vraag hoe groot probleem werkelijk is.</i>	<i>Nader bepalen wat uitspoelprobleem op populatieniveau is, dit zou gezien de lange tijd waarin goede visstand op IJsselmeer aanwezig zijn, toen er ook uitspoeling plaatsvond wellicht minder groot probleem zijn dan vaak verondersteld.</i>
<i>Afstemming spuieregime op wisselwerking met VMR</i>	<i>Relevant, inschatting is dat dit de attractie-efficiëntie van de ingang(en) van de VMR zal verhogen.</i>	<i>Gericht onderzoek naar uitvoeren en ook na aanleg proefondervindelijk verder optimaliseren.</i>
<i>Stroomsnelheid in VMR moet laag zijn, minder dan 0.5 m/s</i>	<i>Minder relevant, omdat de stromingscondities veranderen en omkeren gedurende de getijcyclus. De duur van de soortspecifieke migratievensters per getij zijn meer bepalend voor passage succes VMR</i>	<i>Wanneer meer inzicht is in hoe lang migratievensters minimaal moeten duren voor succesvolle passage kan deze worden vertaald naar stromingscondities (zowel ingaande retourstroming voor selectief getijdetransport als uitgaande stroming voor actieve passage). Verwachting is dat deze in doorgerekende variant niet beperkend zal zijn, hooguit vertragend (een getij moeten wachten)</i>
<i>Rustplekken in de passage aanwezig zijn</i>	<i>Minder relevant, condities zijn goed passeerbaar, met koker als meest restrictieve onderdeel</i>	<i>n.v.t.</i>

In het voorjaar van 2014 komt er middels diverse aanvullende onderzoeken bij Kornwerderzand m.b.t. de VMR nieuwe kennis beschikbaar, ook in relatie tot varianten van toekomstig visvriendelijk spuibeheer. Bovenstaande tabel kan met die nieuwe kennis verder 'up to date' worden gebracht. Waarbij we aanbevelen om dit in combinatie met een brede expert-discussie sessie uit te voeren omdat veel overwegingen inschattingen zijn met een per onderwerp sterk verschillend speculatief gehalte.

7 Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Verantwoording

Rapport C035/14

Projectnummer: 4302506301

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: dr. I.Y.M. Tulp
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 11-3-2014

Akkoord: drs. J. Schobben
Hoofd Afdeling Vis

Handtekening:



Datum: 11-3-2014

Literatuurlijst

- Aarestrup K, Jepsen N (1998) Spawning migration of sea trout (*Salmo trutta* (L)) in a Danish river. *Hydrobiologia* 372:275-281
- Adam B, Faller M, Gischkat S, Hufgard H, Löwenberg S, Mast N (2012) Ergebnisse nach einem Jahr fischökologischen monitorings am doppelschlitzpass geesthacht. *Wasser Wirtschaft* 4: 49-57.
- Adam B, Neumann C (2012) Einrichtungen zum monitoring des fischauftiegs im doppelschlitzpass Geesthacht. *Wasser Wirtschaft* 4: 23-27.
- Allen P, McEnroe M, Forostyan T, Cole S, Nicholl M, Hodge B, Cech J, Jr. (2011) Ontogeny of salinity tolerance and evidence for seawater-entry preparation in juvenile green sturgeon, *Acipenser medirostris*. *J Comp Physiol B* 181:1045-1062
- Altinok I, Galli SM, Chapman FA (1998) Ionic and osmotic regulation capabilities of juvenile Gulf of Mexico sturgeon, *Acipenser oxyrinchus de sotoi*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 120:609-616
- Anras MLB, Cooley PM, Bodaly RA, Anras L, Fudge RJP (1999) Movement and habitat use by lake whitefish during spawning in a boreal lake: Integrating acoustic telemetry and geographic information systems. *Transactions of the American Fisheries Society* 128:939-952
- Aprahamian NW, Bagliniere JL, Sabatie MR, Alexandrino P, Thiel R, Aprahamian CD (2003) Biology, status, and conservation of the anadromous Atlantic twaite shad *Alosa fallax fallax*. In: Limburg KE, Waldman JR (eds) *Biodiversity, Status, and Conservation of the World's Shads*, Book 35
- Baumgartner LJ (2006) Population estimation methods to quantify temporal variation in fish accumulations downstream of a weir. *fisheries Management and Ecology* 13:355-364
- Beamish FWH (1974) SWIMMING PERFORMANCE OF ADULT SEA LAMPREY, *PETROMYZON-MARINUS*, IN RELATION TO WEIGHT AND TEMPERATURE. *Transactions of the American Fisheries Society* 103:355-358
- Bergstedt RA, Seelye JG (1995) EVIDENCE FOR LACK OF HOMING BY SEA LAMPREYS. *Transactions of the American Fisheries Society* 124:235-239
- Bergstrom CA (2002) Fast-start swimming performance and reduction in lateral plate number in threespine stickleback. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 80:207-213
- Bij de Vaate AB, Breukelaar AW, Vriese T, De Laak G, Dijkers C (2003) Sea trout migration in the Rhine delta. *Journal of Fish Biology* 63:892-908
- Bjerselius R, Li WM, Teeter JH, Seelye JG, Johnsen PB, Maniak PJ, Grant GC, Polkinghorne CN, Sorensen PW (2000) Direct behavioral evidence that unique bile acids released by larval sea lamprey (*Petromyzon marinus*) function as a migratory pheromone. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57:557-569
- Blake RW (1983) *Fish locomotion*. London: Cambridge University Press, 208 pp.
- Bolliet V, Lambert P, Rives J, Bardonnet A (2007) Rhythmic swimming activity in *Anguilla anguilla* glass eels: Synchronisation to water current reversal under laboratory conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 344:54-66
- Borcherding J, Scharbert A, Urbatzka R (2006) Timing of downstream migration and food uptake of juvenile North Sea houting stocked in the Lower Rhine and the Lippe (Germany). *Journal of Fish Biology* 68:1271-1286
- Borcherding J, Pickhardt C, Winter HV, Becker JS (2008) Migration history of North Sea houting (*Coregonus oxyrinchus* L.) caught in Lake IJsselmeer (The Netherlands) inferred from scale transects of Sr-88 : Ca-44 ratios. *Aquatic Sciences* 70:47-56
- Borcherding J, Heynen M, Jäger-Kleinicke T, Winter HV, Eckman R (2010). Re-establishment of the North Sea houting in the River Rhine. *Fisheries Management and Ecology* 17: 291-293.
- Borcherding J, Breukelaar AW, Winter HV, König U (2014) Spawning migration and larval drift of anadromous north sea houting (*coregonus oxyrinchus*) in the river ijssel, the Netherlands. *Ecology of Freshwater Fish* 23: 161-170.
- Bos AR (1999) Tidal transport of flounder larvae (*Pleuronectes flesus*) in the Elbe River, Germany. *Arch Fish Mar Res* 47:47-60
- Bos AR, Thiel R (2006) Influence of salinity on the migration of postlarval and juvenile flounder *Pleuronectes flesus* L. in a gradient experiment. *Journal of Fish Biology* 68:1411-1420
- Brevé NWP, Vis H, Houben B, Laak GAJ, Breukelaar AW, Acolas ML, Bruijn QAA, Spierts I (2013) Exploring the possibilities of seaward migrating juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* L., in the Dutch part of the River Rhine. *J Coast Conserv*: 1-13
- Bult TP, Dekker W (2007) Experimental field study on the migratory behaviour of glass eels (*Anguilla anguilla*) at the interface of fresh and salt water. *Ices Journal of Marine Science* 64: 1396-1401
- Castro-Santos T (2005) Optimal swim speeds for traversing velocity barriers: an analysis of volitional high-speed swimming behavior of migratory fishes. *Journal of Experimental Biology* 208:421-432
- Castro-Santos T (2006). Modeling the effect of varying swim speeds on fish passage through velocity barriers. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 1230-1237

- Castro-Santos T, Sanz-Ronda FJ, Ruiz-Legazpi J (2013) Breaking the speed limit - comparative sprinting performance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70:280-293
- Colavecchia M, Katopodis C, Goosney R, Scruton DA, McKinley RS (1998) Measurement of burst swimming performance in wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) using digital telemetry. *Regul Rivers-Res Manage* 14:41-51
- Creutzberg F (1959) DISCRIMINATION BETWEEN EBB AND FLOOD TIDE IN MIGRATING ELVERS (*ANGUILLA-VULGARIS* TURT) BY MEANS OF OLFACTORY PERCEPTION. *Nature* 184:1961-1962
- Creutzberg F (1961) On the orientation of migrating elvers (*Anguilla vulgaris* turt.) in a tidal area. *Netherlands Journal of Sea Research* 1:257-338
- Daverat F, Morais P, Dias E, Babaluk J, Martin J, Eon M, Fablet R, Pecheyran C, Antunes C (2012) Plasticity of European flounder life history patterns discloses alternatives to catadromy. *Marine Ecology Progress Series* 465:267-280
- Davidson JG, Rikardsen AH, Halttunen E, Thorstad EB, Okland F, Letcher BH, Skardhamar J, Naesje TF (2009) Migratory behaviour and survival rates of wild northern Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts: effects of environmental factors. *Journal of Fish Biology* 75:1700-1718
- Davidson JG, Rikardsen AH, Thorstad EB, Halttunen E, Mitamura H, Praebel K, Skardhamar J, Naesje TF (2013) Homing behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during final phase of marine migration and river entry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70:794-802
- de Boer WF (2001). Verbetering van vismigratie door de Afsluitdijk: wat wil de vis? Werkdocument RIKZ/AB/2001.605.x.
- de Graaf M, Bierman SM, (2012). Report on the eel stock and eel fishery in the Netherlands in 2011. IMARES report C144/12.
- de Groot SJ (1991) Herstel van riviertrekvisen in de Rijn een realiteit? de Spiering (*osmerus eperlanus*). *De Levende Natuur* 92: 19-22.
- de Groot SJ (1992) Herstel van riviertrekvisen in de Rijn een realiteit? de Fint (*Alosa fallax*). *De Levende Natuur* 93:182-186
- de Groot SJ (2002). A review of the past and present status of anadromous fish species in the Netherlands: is restocking the Rhine feasible? *Hydrobiologia* 478:205-218
- de Laak GAJ (2007a) Kennisdocument Atlantische zalm, *Salmo salar* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 6. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- de Laak GAJ (2007b) Kennisdocument forel, *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 7. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- de Laak GAJ (2009a) Kennisdocument elft, *Alosa alosa* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 25. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- de Laak GAJ (2009b) Kennisdocument fint, *Alosa fallax* (Lacepede, 1803). Kennisdocument 26. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- Deelder CL (1952) On the Migration of the Elver (*Anguilla vulgaris* Turt.) at Sea. *Journal du Conseil* 18:187-218
- Deelder CL (1958) On the Behaviour of Elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) Migrating from the Sea into Fresh Water. *Journal du Conseil* 24:135-146
- Deelder, C.L. (1960). Ergebnisse der holländischen Untersuchungen über den Glasaalzug. *Arch. Fisch.Wiss.* 11: 1 -10
- Dekker W (1998) Glasaal in Nederland – beheer en onderzoek. DLO-Rijksinstituut voor Visserijonderzoek, IJmuiden. RVIO-DLO rapport 98.002.
- Dekker W, vanWilligen J (1997) Hoeveel glasaal trekt het IJsselmeer in? - verslag van een merkproef met glasaal te Den Oever in 1996 - RIVO rapport nr. C062/97.
- Dekker W, vanWilligen J (1998) Hoeveel glasaal trekt het IJsselmeer in? - verslag van een merkproef met glasaal te Den Oever in 1997 - RIVO rapport /98.
- Dekker W, van Willigen J (2000) De glasaal heeft het tij niet meer mee! - RIVO rapport nr. C055/00.
- Dekker W (2004) What caused the decline of the Lake IJsselmeer eel stock after 1960? *ICES Journal of Marine Science*, 61, 394-404.
- Dittman AH, Quinn TP (1996) Homing in Pacific salmon: Mechanisms and ecological basis. *Journal of Experimental Biology* 199:83-91
- Dodson JJ, Jones RA, Leggett WC (1972) BEHAVIOR OF ADULT AMERICAN SHAD (*ALOSA-SAPIDISSIMA*) DURING MIGRATION FROM SALT TO FRESH WATER AS OBSERVED BY ULTRASONIC TRACKING TECHNIQUES. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 29:1445
- Dodson JJ, Leggett WC (1973) BEHAVIOR OF ADULT AMERICAN SHAD (*ALOSA-SAPIDISSIMA*) HOMING TO CONNECTICUT RIVER FROM LONG ISLAND SOUND. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 30:1847-1860.
- e.V. SW-E (2011) Neunaugen aufstiegsmonitoring an fischwegen in Niedersachsen standort Bollingerfähr / Ems. In. Sportfischerverband im Landesfischereiverband Weser-Ems e.V.
- e.V. SW-E (2012) Neunaugen aufstiegsmonitoring an fischwegen in Niedersachsen Standort Bollingerfähr / Ems. In. Sportfischerverband Im Landersfischereiverband Weser-Ems e.V., Oldenburg

- Eckmann R (1991) A HYDROACOUSTIC STUDY OF THE PELAGIC SPAWNING BEHAVIOR OF WHITEFISH (*COREGONUS-LAVARETUS*) IN LAKE CONSTANCE. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48:995-1002
- Emmerik WAM, Nie de HW (2006) De zoetwatervissen van Nederland. In: Vereniging Sportvisserij Nederland, Bilthoven
- Esteves E, Andrade JP (2008). Diel and seasonal distribution patterns of eggs, embryos and larvae of Twaite shad *Alosa fallax fallax* (Lacepede, 1803) in a lowland tidal river. Acta Oecol-Int J Ecol 34:172-185
- Faller M, Schwevers U (2012). Using half duplex technology to assess fish migration at the geesthacht weir on the river Elbe. Paper presented at 9th International Symposium on Ecohydraulics, Vienna.
- Feunteun E (2002) Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): an impossible bargain. Ecological Engineering 18, 575-591.
- Finstad AG, Okland F, Thorstad EB, Heggberget TG (2005) Comparing upriver spawning migration of Atlantic salmon *Salmo salar* and sea trout *Salmo trutta*. Journal of Fish Biology 67:919-930
- Freyhof J, Schoter C (2005) The houting *Coregonus oxyrinchus* (L.) (Salmoniformes : Coregonidae), a globally extinct species from the North Sea basin. Journal of Fish Biology 67:713-729
- Gaudron SM, Lucas MC (2006) First evidence of attraction of adult river lamprey in the migratory phase to larval odour. Journal of Fish Biology 68:640-644
- Gerlier M, Roche P (1998) A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. Hydrobiologia 372:283-293
- Gosset C, Rives J, Labonne J (2006) Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (*Salmo trutta* L.). Ecology of Freshwater Fish 15:247-254
- Gough PJ (1996) Potential impact of estuarine barrages on migratory fish in England and Wales.
- Gowans ARD, Armstrong JD, Priede IG, McKelvey S (2003) Movements of Atlantic salmon migrating upstream through a fish-pass complex in Scotland. Ecology of Freshwater Fish 12:177-189
- Griffioen AB, Keeken OA, Burggraaf D, Winter HV (2012) Nulmeting visbeheer Houtribdijk spui: DIDSON metingen - IMARES rapport nr C161/12.
- Griffioen AB, Kuijs E (2013a) Een eerste monitoring voor een index voor schieraal in Nederland 2012 - IMARES rapport nr. C139/13.
- Griffioen, A.B.; Keeken, O.A. van; Burggraaf, D.; Puts, T.J.A.; Manshanden, G. (2013b) Onderzoek vis migratie via grote sluizen: DIDSON metingen IMARES Report C013/13
- Griffioen AB, Kuijs E (2013) Winterintrek van rivierprik bij Kornwerderzand en het Haringvliet najaar 2012 - rapport nr. C084/13. In: IMARES, IJmuiden
- Griffioen, AB, van Keeken, OA, Winter HV, (2014). A telemetry study for migrating silver eel (*Anguilla anguilla* L.) mortality estimations in the River Meuse in 2010 – 2012. IMARES Report C028/13
- Hain. J.H.W. (1975). Migratory orientation in the American eel. Ph.D. Thesis. University of Rhode Island, Kingston. 126 pp.
- Hansen LP, Jonsson N, Jonsson B (1993) OCEANIC MIGRATION IN HOMING ATLANTIC SALMON. Animal Behaviour 45:927-941
- Hansen, M.M., Nielsen, E.E. & Mensberg, K.L.D., 2006. Underwater but not out of sight: genetic monitoring of effective population size in the endangered North Sea Houting (*Coregonus oxyrinchus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63 (4): 780-787.
- Hansen, M.M., Fraser D.J., Als, T.D. & Mensberg, K.L.D. 2008. Reproductive isolation, evolutionary distinctiveness and setting conservation priorities: The case of a European lake whitefish and the endangered North Sea houting (*Coregonus* spp.). BMC Evolutionary Biology 8: 137 doi 10.1186/1471-2148-8-137.
- Houben B, Linnartz L, Quak J (2012) De steur terug in de Rijn - de atlantische steur als kroon op het werk aan levende rivieren. Stichting ARK, Nijmegen
- Huuskonen H, Haakana H, Leskela A, Piironen J (2012) Seasonal movements and habitat use of river whitefish (*Coregonus lavaretus*) in the Koitajoki River (Finland), as determined by Carlin tagging and acoustic telemetry. Aquatic Ecology 46:325-334
- Jager Z (1998) Accumulation of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary, Wadden Sea). Journal of Sea Research 40:43-57
- Jager Z (1999) Selective tidal stream transport of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary). Estuarine Coastal and Shelf Science 49:347-362
- Jager Z (2001) Transport and retention of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard nursery (Ems estuary). Journal of Sea Research 45:153-171
- Jager Z, Kranenburg J (2004) Implementatie KRW vis in overgangswateren. In: Klinge et al. (2004) Achtergronddocument Vis (www.stowa.nl). RIKZ/OS/2004.606w.
- Jager Z, Kranenburg J (2008) Maatlat vissen in estuaria KRW watertype O2. In: Ravon & RWS Waterdienst
- Jager Z, Mulder HPJ (1999) Transport velocity of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary). Estuarine Coastal and Shelf Science 49:327-346
- Jager, Z., de Jonge VK, H., van Maren B, Schuchard B (2012) The ecological state of the Ems estuary and options for restoration. In: Altenburg & Wymenga, Leeuwarden.

- Jansen HM, Winter HV, Tulp I, Bult T, van Hal R, Bosveld J, Vonk R, (2008). Bijvangst van Salmoniden en overige trekvis vanuit een populatieperspectief. IMARES Rapport C039/08.
- Jensen AR, Nielsen, HT, Ejbye-Ernst M, (2003). National Management Plan for the Houting. County of Ribe, Denmark.
- Jepsen N, Deacon M, Koed A (2012) Decline of the north sea houting: Protective measures for an endangered anadromous fish. *Endangered Species Research* 16:77-84
- Johnson NS, Muhammad A, Thompson H, Choi J, Li W (2012) Sea lamprey orient toward a source of a synthesized pheromone using odor-conditioned rheotaxis. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 66:1557-1567
- Jonsson B, Jonsson N (2009a) Migratory timing, marine survival and growth of anadromous brown trout *Salmo trutta* in the River Imsa, Norway. *Journal of Fish Biology* 74:621-638
- Jonsson B, Jonsson N (2009b) A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology* 75:2381-2447
- Jonsson N, Jonsson B (2002) Migration of anadromous brown trout *Salmo trutta* in a Norwegian river. *Freshwater Biology* 47:1391-1401
- Jonsson N, Jonsson B, Hansen LP (1990b) PARTIAL SEGREGATION IN THE TIMING OF MIGRATION OF ATLANTIC SALMON OF DIFFERENT AGES. *Animal Behaviour* 40:313-321
- Jurjens H, (2006). The migration of salmonids through the Rhine delta. Analysis of the factors influencing the return of salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta trutta*). MSc-thesis Aquatic Ecology and Water Quality Management AEW-80439. Report nr. 007/2006. Wageningen University, RWS RIZA.
- Katopodis C, Gervais R, (2012). Ecohydraulic analysis of fish fatigue data. *River Research and Applications* 28: 444-456
- Keefer ML, Caudill CC, Peery CA, Moser ML (2013) Context-dependent diel behavior of upstream-migrating anadromous fishes. *Environmental Biology of Fishes* 96:691-700
- Kelly FL, King JJ (2001) A review of the ecology and distribution of three lamprey species, *Lampetra fluviatilis* (L.), *Lampetra planeri* (Bloch) and *Petromyzon marinus* (L.): A context for conservation and biodiversity considerations in Ireland. *Biology and Environment* 101:165-185
- Kemp PS, Gessel MH, Sandford BP, Williams JG (2006) The behaviour of Pacific salmonid smolts during passage over two experimental weirs under light and dark conditions. *River Research and Applications* 22:429-440
- Kemp PS, Russon IJ, Vowles AS, Lucas MC (2011) THE INFLUENCE OF DISCHARGE AND TEMPERATURE ON THE ABILITY OF UPSTREAM MIGRANT ADULT RIVER LAMPREY (*LAMPETRA FLUVIATILIS*) TO PASS EXPERIMENTAL OVERSHOT AND UNDERSHOT WEIRS. *River Research and Applications* 27:488-498
- Kennedy RJ, Moffett I, Allen MM, Dawson SM (2013) Upstream migratory behaviour of wild and ranched Atlantic salmon *Salmo salar* at a natural obstacle in a coastal spate river. *Journal of Fish Biology* 83:515-530
- Kitano J, Ishikawa A, Kume M, Mori S (2012) Physiological and genetic basis for variation in migratory behavior in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Ichthyological Research* 59:293-303
- Kleef HL, Jager Z (2002) Het diadrome visbestand in het Eems-Dollard estuarium in de periode 1999 tot 2001. Rapport nr 2002.060.
- Klein Breteler J, Vriese T, Borchering J, Breukelaar A, Jörgensen L, Staas S, de Laak G, Ingendahl D (2007). Assessment of population size and migration routes of silver eel in the River Rhine based on a 2-year combined mark-recapture and telemetry study. *ICES Journal of Marine Science* 64: 1450-1456
- Kolvoort AJ, Butijn GD (1990) Verkenning van mogelijkheden voor bevordering van de visintrek via de afsluitdijksluizen. Rijkswaterstaat, Lelystad
- Kranenbarg J, Winter HV, Backx JJGM, (2002). Recent increase of North Sea houting *Coregonus oxyrhynchus* and prospects for recolonisation in the Netherlands. *Journal of Fish Biology* 61 Suppl. A: 251-253.
- Kranenbarg J (2004) KRW vis in overgangswateren. WL | delft hydraulics
- Kroon JW (2009) Kennisdocument bot, *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 27. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- Kuijs E, Tulp I, de Boois I, Willigen J, Nijman R (2012) Diadrome vissen in het IJsselmeer / Markermeer en de Waddenzee jaarrapport 2010. In. IMARES, IJmuiden
- Laine A, Kamula R, Hooli J (1998a) Fish and lamprey passage in a combined Denil and vertical slot fishway. *Fisheries Management and Ecology* 5:31-44
- Laine A, Ylinara T, Heikkilä J, Hooli J (1998b) Behaviour of upstream migrating whitefish, *Coregonus lavaretus*, in the Kukkolankoski rapids, northern Finland.
- Lam TJ, Hoar WS (1967) SEASONAL EFFECTS OF PROLACTIN ON FRESHWATER OSMOREGULATION OF MARINE FORM (*TRACHURUS*) OF STICKLEBACK *GASTEROSTEUS ACULEATUS*. *Canadian Journal of Zoology* 45:509

- LANUV (2011) Herintroductie van de elft (meivis, *Alosa alosa*) in het Rijnsysteem. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen-Fachbericht 28.
- Laverty G, Skadhauge E (2012) Adaptation of teleosts to very high salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* 163:1-6
- Lebel JM, Leloup J (1992) TRIIODOTHYRONINE IS REQUIRED FOR THE ACCLIMATION TO SEAWATER OF THE BROWN TROUT (*SALMO-TRUTTA*) AND RAINBOW-TROUT (*ONCORHYNCHUS-MYKISS*). *Comptes Rendus Acad Sci Ser III-Sci Vie-Life Sci* 314:461-468
- Leggett WC, Oboyle RN (1976) OSMOTIC-STRESS AND MORTALITY IN ADULT AMERICAN SHAD DURING TRANSFER FROM SALTWATER TO FRESHWATER. *Journal of Fish Biology* 8:459-469
- Leguen I, Veron V, Sevellec C, Azam D, Sabatie R, Prunet P, Bagliniere JL (2007) Development of hypoosmoregulatory ability in allis shad *Alosa alosa*. *Journal of Fish Biology* 70:630-637
- Lehmann B, Seidel F, Läkemäker K, Nestmann F (2012) Physikalische begleituntersuchungen zur fischauftiegsanlage am Elbewehr bei Geesthacht. In: Book 4. WasserWirtschaft
- Lochet A, Boutry S, Rochard E (2009) Estuarine phase during seaward migration for allis shad *Alosa alosa* and twaite shad *Alosa fallax* future spawners. *Ecology of Freshwater Fish* 18:323-335
- Lucas MC, Barras E (2001) Migration of freshwater fishes, Vol. Blackwell Science Ltd
- Maitland PS, Lyle AA (2005) Ecology of allis shad *Alosa alosa* and twaite shad *Alosa fallax* in the Solway Firth, Scotland. *Hydrobiologia* 534:205-221
- Menzel H, Schwevers U (2012a) Bilanz und Ausblick nach dem ersten betriebsjahr des doppelschlitzpasses Geesthacht. *Wasser Wirtschaft* 4: 12-16.
- Menzel H, Schwevers U (2012b) Rahmenbedingungen für den bau Europas größter fischauftiegsanlage am Nordufer des Whres Geesthacht. *Wasser Wirtschaft* 4: 58-63.
- Miles SG, (1968). Rheotaxis of elvers of American eel (*Anguilla rostrata*) in laboratory to water from different streams in Nova Scotia. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 25 (8): 1591.
- Morais P, Dias E, Babaluk J, Antunes C (2011) The migration patterns of the European flounder *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) (Pleuronectidae, Pisces) at the southern limit of its distribution range: Ecological implications and fishery management. *Journal of Sea Research* 65:235-246
- Morin R, Dodson JJ, Power G (1981) THE MIGRATIONS OF ANADROMOUS CISCO (*COREGONUS-ARTEDII*) AND LAKE WHITEFISH (*COREGONUS-CLUPEAFORMIS*) IN ESTUARIES OF EASTERN JAMES BAY. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 59:1600-1607
- Morris R (1958) THE MECHANISM OF MARINE OSMOREGULATION IN THE LAMPERN (*LAMPETRA-FLUVIATILIS* L) AND THE CAUSES OF ITS BREAKDOWN DURING THE SPAWNING MIGRATION. *Journal of Experimental Biology* 35:649-665
- Moser ML, Ross SW (1994) Effects of changing current regime and river discharge on the estuarine phase of anadromous fish migration. In: Dyer KR, Orth RJ (eds) *Changes in fluxes in estuaries: implications from science to management*. Olsen and Olsen, Fredensborg, Denmark.
- Mouton AM, Stevens M, Van den Neucker T, Buysse D, Coeck J (2011) Adjusted barrier management to improve glass eel migration at an estuarine barrier. *Marine Ecology Progress Series* 439:213-222
- Mulder I, (2011). Dispersal and habitat use in juvenile River lamprey (*Lampetra fluviatilis*). MSc-thesis nr. T 1844, Wageningen University & IMARES.
- Munk P, Hansen MM, Maes GE, Nielsen TG, Castonguay M, Riemann L, Sparholt H, Als TD, Aarestrup K, Andersen NG, Bachler M (2010) Oceanic fronts in the Sargasso Sea control the early life and drift of Atlantic eels. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 277:3593-3599
- Pesaro M, Balsamo M, Gandolfi G, Tongiorgi P, (1981). Discrimination among different kinds of water in juvenile eels, *Anguilla Anguilla* (L.). *Monitore Zool. Ital.* 15: 183-191.
- PNRW (2013) Vismigratierivier Afsluitdijk haalbaarheid en projectplan. Programma Naar Een Rijke Waddenzee. De Nieuwe Afsluitdijk (Provincie Noord-Holland, Provincie Fryslân gemeenten Hollands Kroon, Súdwest-Fryslân, Harlingen), Waddenvereniging, Sportvisserij Nederland, Stichting Verantwoord Beheer IJsselmeer, Vereniging Vaste Vistuigvisser Noord. Uitgevoerd door: LINKit consult & Wanningen Water Consult.
- Potter ECE (1985) Salmonid migrations off the north-east coast of England. . *Proc Inst Fish Mgmt* 16th Ann Study Course, University of York, 16-19September 1985, pp 124-141
- Potter ECE (1988) MOVEMENTS OF ATLANTIC SALMON, *SALMO-SALAR* L, IN AN ESTUARY IN SOUTHWEST ENGLAND. *Journal of Fish Biology* 33:153-159
- Poulsen SB, Jensen LF, Schulz C, Deacon M, Meyer KE, Jager-Kleinicke T, Schwarten H, Svendsen JC (2012) Ontogenetic differentiation of swimming performance and behaviour in relation to habitat availability in the endangered North Sea houting (*Coregonus oxyrinchus*). *Aquatic Living Resources* 25:241-249
- Qu Y, Duan M, Yan J, Feng G, Liu J, Zhang, L, Zhuang P, (2013). Effects of lateral morphology on swimming performance in two sturgeon species. *JOURNAL OF APPLIED ICHTHYOLOGY* 29: 310-315.
- Quak J, W.A.M. van Emmerik & R. Verspui. (2012) Kennisdocument trekvissen Afsluitdijk. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.

- Quinn TP (1990). CURRENT CONTROVERSIES IN THE STUDY OF SALMON HOMING. *Ethology Ecology & Evolution* 2:49-63
- Quintella BR, Andrade NO, Koed A, Almeida PR (2004). Behavioural patterns of sea lampreys' spawning migration through difficult passage areas, studied by electromyogram telemetry. *Journal of Fish Biology* 65:961-972
- Quintella BR, Pova I, Almeida PR (2009) Swimming behaviour of upriver migrating sea lamprey assessed by electromyogram telemetry. *Journal of Applied Ichthyology* 25:46-54
- Reese LA, (2012). Adult fishway systems – Multiple entrance strategy, effectiveness and design considerations. Paper presented at Symposium of Ecological Connectivity, Karlsruhe, Germany, 12-13 June 2012.
- Rogers A, Cane A (1979) Upstream passage of adult salmon through an unlit tunnel. *Fish Mgmt* 10:87-92
- Rommel SA, McCleave JD (1972) OCEANIC ELECTRIC-FIELDS - PERCEPTION BY AMERICAN EELS. *Science* 176:1233
- Russell IC, Moore A, Ives S, Kell LT, Ives MJ, Stonehewer RO (1998) The migratory behaviour of juvenile and adult salmonids in relation to an estuarine barrage. *Hydrobiologia* 372:321-333
- Russon IJ, Kemp PS (2011) Experimental quantification of the swimming performance and behaviour of spawning run river lamprey *Lampetra fluviatilis* and European eel *Anguilla anguilla*. *Journal of Fish Biology* 78:1965-1975
- Russon IJ, Kemp PS, Lucas MC (2011) Gauging weirs impede the upstream migration of adult river lamprey *Lampetra fluviatilis*. *Fisheries Management and Ecology* 18:201-210
- RWS (2012) Helpdesks Water Nieuw - Betere vismigratie door passages en zoutwaterafvoersystemen. http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/vaarwegen/ijsselmeer/project_afsluit_dijk/nieuw/nieuwsbrief/oktober_2012/betere_vismigratie_door_passages_en_zoutwaterafvoersystemen.aspx
- RWS (2013a) Helpdesk Water Nieuws - ruim baan glasaal. http://www.helpdeskwater.nl/nieuwsbrieven/-helpdesk_water/nieuwsbrieven/2013/helpdesk-water-1/@36423/ruim-baan-glasaal/
- RWS (2013b) Helpdesk Water Nieuws - vissen zwemmen makkelijker door visvriendelijk sluisbeheer. http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/vaarwegen/ijsselmeer/project_afsluit_dijk/nieuw/nieuwsbrief/april2013/vissen_zwemmen_makkelijker_door_visvriendelijk_sluisbeheer.aspx
- Sakamoto T, McCormick SD, Hirano T (1993) OSMOREGULATORY ACTIONS OF GROWTH-HORMONE AND ITS MODE OF ACTION IN SALMONIDS - A REVIEW. *Fish Physiology and Biochemistry* 11:155-164
- Schlegel, H., 1862. *Natuurlijke historie van Nederland*. De Visschen xii, G.L. Funke, Amsterdam, The Netherlands, 211 pages.
- Schneider J (2009): *Fischökologische Gesamtanalyse einschließlich Bewertung der Wirksamkeit der laufenden und vorgesehenen Maßnahmen im Rheingebiet mit Blick auf die Wiedereinführung von Wanderfischen*. Bericht Nr. 167, Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), 165 pp.
- Schmidt M (1922) The breeding places of the eel. . *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 211:179-208
- Scholle J, Kopetsch D, Rückert P, Bildstein T, Meyerdirks J (2012) Herstellung der durchgängigkeit für fische und rundmäuler in den vorranggewässern der internationalen flusgebietseinheit Ems. In. BIOCONSULT
- Scholle J, Schuchardt B, Brandt T, Veckenstedt J, Endjer R (2005) Fishdurchgängigkeit des Petkumer Sieles im mesohalinen Abschnitt der Ems. - Erfolgskontrolle der im Rahmen der Ersatzmaßnahmen zum Emssperrwerk hergestellten Durchgängigkeit des Petkumer Siels. Untersuchungsergebnisse aus dem Frühjahr 2004. In. BIOCONSULT Bremen
- Scholle J, Schuchardt B, Schulze S, Veckenstedt J (2007) Situation of the smelt (*osmerus eperlanus*) in the Ems estuary with regard to the aspect of spawning grounds and recruitment. In. BIOCONSULT
- Schuchard B, Bachmann F, Brunken H, Huber A, Jager Z, Wittenberg M (2009). Durchgängigkeit und vernetzung von kusten und binnengewässern. Report BIOCONSULT.
- Slabbekoorn H, Bouton N, van Opzeeland I, Coers A, ten Cate C, Popper AN (2010). A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 419-427.
- Sorensen PW, 1986. Origins of freshwater attractant(s) of migrating elvers of the American eel, *Anguilla rostrata*. *Environmental Biology of Fishes* 17: 185-200.
- Stabell OB (1984) HOMING AND OLFACTION IN SALMONIDS - A CRITICAL-REVIEW WITH SPECIAL REFERENCE TO THE ATLANTIC SALMON. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 59:333-388
- Stasko AB (1975) PROGRESS OF MIGRATING ATLANTIC SALMON (*SALMO-SALAR*) ALONG AN ESTUARY, OBSERVED BY ULTRASONIC TRACKING. *Journal of Fish Biology* 7:329-338
- Stuart TE (1962). The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. *Freshwater and Salmon Fisheries Report* 28: 46.

- Taylor EB, McPhail JD (1986) PROLONGED AND BURST SWIMMING IN ANADROMOUS AND FRESH-WATER THREESPINE STICKLEBACK, *GASTEROSTEUS-ACULEATUS*. Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie 64:416-420
- Thiel R, Salewski V (2003) Distribution and migration of lampreys in the Elbe estuary (Germany). Limnologica 33:214-226
- Tosi L, Sola C, (1993). Role of geosmin, a typical inland water odour, in guiding glass eel *Anguilla Anguilla* (L.) migration. Ethology 95: 177-185.
- Trancart T, Lambert P, Rochard E, Daverat F, Coustillas J, Roqueplo C (2012) Alternative flood tide transport tactics in catadromous species: *Anguilla anguilla*, *Liza ramada* and *Platichthys flesus*. Estuarine Coastal and Shelf Science 99:191-198
- Tudorache C, Blust R, De Boeck G (2007) Swimming capacity and energetics of migrating and non-migrating morphs of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. and their ecological implications. Journal of Fish Biology 71:1448-1456
- Tulp I, van Willigen JA, (2003). Zeldzame vissen in het IJsselmeergebied. RIVO-rapport C029/03
- Tulp I, Bolle LJ, Rijnsdorp AD, (2008). Signals from the shallows: in search of common patterns in long-term trends in Dutch estuarine and coastal fish. Journal of Sea Research, 60 (2008), pp. 54-73
- Tulp I, de Boois I, van Willigen JA, Westerink HJ (2011). Diadrome vissen in de Waddenzee: Monitoring bij Kornwerderzand 2001-2009. Imares Wageningen UR, Rapportnr. C008/11, IJmuiden.
- Tulp I, Keller M, Navez J, Winter HV, de Graaf M, Baeyens W (2013) Connectivity between Migrating and Landlocked Populations of a Diadromous Fish Species Investigated Using Otolith Microchemistry. PLoS ONE 8(7): e69796
- van Beek GCW (2000) Zoet Zout Zuid-Holland - RIZA werkdokument nr. 2000.025X. In. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Lelystad
- van Bemmelen AA, (1866). Lijst van visschen in Nederland waargenomen. In: Herklots, J.A. (Ed.), Bouwstoffen voor eene Fauna van Nederland, 3, E.J. Brill, Leyden, pp. 318-413.
- van der Molen DT, (2004). referenties en concept-maatlatten voor overgangs- en kustwateren voor de kaderrichtlijn water rapportnr 2004-44, Vol. STOWA, Utrecht
- van Emmerik WAM (2004). Kennisdocument Atlantische steur *Acipenser sturio* (Linnaeus, 1758). Kennisdocument 02. OVB / Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- van Emmerik WAM, H.W. de Nie (2006) De zoetwatervissen van Nederland. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- van Heusden, GPH (1943). De trek van den glasaal naar het IJsselmeer. PhD-Thesis, Utrecht.
- van Keeken OA, de Boois IJ, Wiegerick H, van Barneveld E, Leijzer T (2009). Oeverbemonstering IJsselmeer – Markermeer: Resultaten 2008 & Evaluatie Pilot 2007-2008. IMARES report C062/09
- van Keeken OA, Burggraaf D., Tribuhl SV, Winter HV, (2010). Gedrag van schieraal rond het krooshek voor gemaal IJmuiden. DIDSON metingen. IMARES Rapport C049/10.
- van Kessel N, Dorenbosch M, Crombaghs B, (2009). Indicaties voor voortplanting van de Zeeprik in Nederland. Natuurhistorisch Maandblad 98: 32-37.
- van Overzee HJM, de Boois IJ, van Keeken OA, van Os-Koomen B, van Willigen J, de Graaf M (2011) Vismonitoring in het IJsselmeer en Markermeer. IMARES-Report C041/11.
- van Wijk B, (2011). Onderzoek najaarsmigratie 2010 van vis naar het Noordzeekanaal vanuit het beheergebied van hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Rapport Visserijservice Nederland i.o.v. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.
- Vethaak AD (2013) Disease prevalence in flounder (*Platichthys flesus*) from the Dutch Wadden Sea as indicator of environmental quality: A summary of 1988-2005 surveys. Journal of Sea Research 82:142-152
- Vethaak D, Jol J, Pieters J (2004) Onderzoek naar ziekte bij bot (*Platichthys flesus*) vóór en achter de afsluitdijk.
- Videler JJ, Wardle CS (1991) Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance. Reviews in Fish Biology and Fisheries 1, 23-40.
- Videler JJ (1993) Fish swimming, Vol. Chapman & Hall, London
- Vincik R (2013) Multi-year monitoring to facilitate adult salmon passage through a temperate tidal marsh. Environmental Biology of Fishes 96:203-214
- Vrieze LA, Bergstedt RA, Sorensen PW (2011) Olfactory-mediated stream-finding behavior of migratory adult sea lamprey (*Petromyzon marinus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 68:523-533
- Vrieze LA, Bjerselius R, Sorensen PW (2010) Importance of the olfactory sense to migratory sea lampreys *Petromyzon marinus* seeking riverine spawning habitat. Journal of Fish Biology 76:949-964
- Vrieze LA, Sorensen PW (2001) Laboratory assessment of the role of a larval pheromone and natural stream odor in spawning stream localization by migratory sea lamprey (*Petromyzon marinus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58:2374-2385
- Wagner CM, Twohey MB, Fine JM (2009) Conspecific cueing in the sea lamprey: do reproductive migrations consistently follow the most intense larval odour? Animal Behaviour 78:593-599
- Waldman J, Grunwald C, Wirgin I (2008) Sea lamprey *Petromyzon marinus*: an exception to the rule of homing in anadromous fishes. Biology Letters 4:659-662

- Wardle CS (1980) Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. In: Environmental Physiology of Fishes, London: Plenum Press, pp. 519-531.
- Weiler OM, Uittenbogaard RE, Keetels GH, Bijlsma AC, Cornelisse JM (2012) Zoutlekbeperking Volkeraksluizen, verdere reductie van de zoutlek middels een zoutvang. In: Deltares
- Welton JS, Beaumont WRC, Clarke RT (2002). The efficacy of air, sound and acoustic bubble screens in deflecting Atlantic salmon *Salmo salar* L., smolts in the River Frome, UK. Fisheries Management and Ecology 9: 11-18.
- Whoriskey FG, Wootton RJ (1987) The swimming endurance of threespine sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus* L., from the Afon Rheidol, Wales. Journal of Fish Biology 30:335-339
- Wiegerinck JAM, de Boois IJ, van Keeken OA, van Willigen JA, (2011). Jaarrapportage Passieve Vismonitoring Zoete Rijkswateren: fuik- en zalmsteekregistraties in 2010. IMARES report C045/11.
- Willet H, bij de Vaate A (2004) Beheersadvies voor de optimalisatie van visintrek door de bestaande spuissluizen in de afsluitdijk - RDU werkdocument 2004.1. In: Directoraat- Generaal Rijkswaterstaat
- Williams JG, Armstrong G, Katopodis C, Lariniere M, Travade F (2012) THINKING LIKE A FISH: A KEY INGREDIENT FOR DEVELOPMENT OF EFFECTIVE FISH PASSAGE FACILITIES AT RIVER OBSTRUCTIONS. River Research and Applications 28:407-417
- Williot P, Rochard E, Castelnaud G, Rouault T, Brun R, Lepage M, Elie P (1997) Biological characteristics of European Atlantic sturgeon, *Acipenser sturio*, as the basis for a restoration program in France. Environmental Biology of Fishes 48:359-372
- Williot P, Rochard E, Desse-Berset N, Kirschbaum F, Gessner J. (Eds.). (2011) Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758. The Reunion of the European and Atlantic Sturgeons. Springer Heidelberg, Dordrecht, New York, London.
- Wilson JM, Antunes JC, Bouca PD, Coimbra J (2004) Osmoregulatory plasticity of the glass eel of *Anguilla anguilla*: freshwater entry and changes in branchial ion-transport protein expression. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61:432-442
- Winter HV, Jansen HM, Bruijs MCM, (2006). Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. Ecology of Freshwater Fish 15: 221-228.
- Winter HV (2007) A fisheye view on fishways. PhD Thesis, Wageningen University The Netherlands
- Winter, H.V. & E.G. Visser, 2007. Sprintfish, een RIVO-applicatie om de passeerbaarheid van barrières te berekenen, online gepubliceerd en beschikbaar: <http://www.rivo.dlo.nl/sites/sprintfish/>.
- Winter HV, Bult T, van Willigen JA, (2007). Glasaalintrek in gebied Waterschap Zeeuwse Eilanden. IMARES-rapport C025/07.
- Winter HV, Griffioen AB (2007) Verspreiding van rivierprik-larven in het Drentsche Aa stroomgebied. Wageningen IMARES rapport nr: C017/07.
- Winter HV, de Leeuw JJ, Bosveld J (2008) Houting in het IJsselmeergebied. Een uitgestorven vis terug? - IMARES rapport nr. C084/08.
- Winter HV (2009) Voorkomen en gedrag van trekvis nabij kunstwerken en consequenties voor de vangsten met vistuigen - IMARES rapport nr. C076/09.
- Winter HV, Bierman SM (2010) De uitbreidingsmogelijkheden voor schieraal via de haringvlietsluizen - IMARES rapport nr. C155/10.
- Winter HV, (2011). Effecten van gemaal IJmuiden op de uitbreiding van schieraal: integratie van de onderzoeken tijdens de periode 2007-2011. IJmuiden, IMARES Rapport C152/11.
- Winter HV, Griffioen AB, Keeken OA, Schollemans PP (2013) Telemetry study on migration of river lamprey and silver eel in the Hunze and Aa catchment basin - IMARES rapport nr C012/13.
- Winter HV, Van Densen WLT (2001) Assessing the opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vecht. Fisheries Management and Ecology 8:513-532
- Wintermans GJM (1997) Advies voor de aanleg van een vispassage bij het gemaal van Termunterzijl. - WEB rapport nr. 97-03. Wintermans Ecologenbureau
- Wintermans GJM, van Dijk K, de Boer T, Post A (2004) Monitoringsverslag vispassage gemaal Rozema 2001-2004 - WEB rapport 04-03. Wintermans Ecologenbureau
- Wirth T, Bernatchez L (2003). Decline of North Atlantic eels: a fatal synergy? Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences 270: 681-688
- Witteveen+Bos (2008) Visstandonderzoek op de Middelgronden. Rapport Witteveen+Bos in opdracht van RWS-IJsselmeergebied.
- Witteveen+Bos (2009a) Metingen aan visintrek bij de uitvoering van schutten met de spuissluizen te Kornwerderzand - RW1696-2.
- Witteveen+Bos (2009b) Metingen vismigratie via de spuiccomplexen in de afsluitdijk - RW1696-1.
- Wootton RJ (1976) The biology of the sticklebacks, Vol. Academic Press, Wales.
- Young GC, Potter IC (2003) Do the characteristics of the ichthyoplankton in an artificial and a natural entrance channel of a large estuary differ? Estuarine Coastal and Shelf Science 56:765-779.